



Gobierno de Navarra
Departamento de Obras Públicas,
Transportes y Comunicaciones

CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE NAVARRA
ESCALA 1:25.000

HOJA 64-IV

ANDOAIN

MEMORIA

La presente Hoja y Memoria, ha sido realizado por “TECNOLOGÍA DE LA NATURALEZA S.L. (TECNA)”, durante el año 2001-2002, con normas, dirección y supervisión del Gobierno de Navarra, habiendo intervenido los siguientes técnicos:

Dirección y Supervisión (GOBIERNO DE NAVARRA)

Faci Paricio, E. Dirección del Proyecto

Autores y Colaboradores (TECNA S.L.)

Galán Pérez, G. Cartografía, Memoria e Informática

García de Domingo, A, Cartografía y Memoria

Cabra Gil, P. Geomorfología y Cuaternario

González Lastra, J. Sedimentología

Martínez Torres, L.M. Tectónica

Pesquera Pérez, A. Petrología

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ESTRATIGRAFÍA	4
2.1. PALEOZOICO	4
2.1.1. Devónico-Carbonífero	5
2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasnense-Wesfaliense	5
2.1.1.2. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero	5
2.2. MESOZOICO	6
2.2.1. Triásico.....	6
2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior.	6
2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico	7
2.3. CUATERNARIO	8
2.3.1. Holoceno.....	8
2.3.1.1. Bloques y arcillas (nivel 545). Deslizamientos.	8
2.3.1.2. Cantos, gravas, bloques y arcillas (nivel 543). Coluviones.	8
2.3.1.3. Gravas, cantos, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle.	9
2.3.1.4. Arenas, gravas, cantos y arcillas (nivel 536). Conos de deyección.	9
3. TECTÓNICA	10
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES	10
3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA).....	11
3.2.1. Descripción de las principales estructuras.....	14
3.3. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA	14
3.4. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN.	16
4. GEOMORFOLOGIA	18
4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA	18
4.2. ANTECEDENTES	19
4.3. ANÁLISIS MORFOLÓGICO.....	20
4.3.1. Estudio morfoestructural	20
4.3.2. Estudio del modelado	21
4.3.2.1. Formas de ladera	21
4.3.3. Formas fluviales.....	22
4.3.3.1. Formas poligénicas	23
4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES	23

4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA	25
4.6. PROCESOS ACTUALES	26
5. PETROLOGIA	28
5.1. ROCAS FILONIANAS	28
5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7)	28
5.2. METAMORFISMO REGIONAL	28
6. HISTORIA GEOLÓGICA.....	30
6.1. EL CICLO HERCÍNICO.....	30
6.2. EL CICLO ALPINO	31
7. GEOLOGÍA ECONÓMICA	35
7.1. RECURSOS MINERALES.....	35
7.1.1. Interés potencial de los recursos mineros.....	35
7.2. HIDROGEOLOGÍA	35
7.2.1. Introducción	35
7.2.2. Descripción hidrogeológica	36
7.2.3. Acuíferos secundarios	37
7.2.3.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)	37
7.2.3.2. Cuaternario	37
7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico	38
7.3. GEOTECNIA.....	43
7.3.1. Introducción	43
7.3.2. Metodología.....	44
7.3.3. Zonificación geotécnica	45
7.3.3.1. Criterios de división	45
7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas.....	45
7.3.4. Características geotécnicas.....	1
7.3.4.1. Introducción	1
7.3.4.2. Área II	12
7.3.4.3. Área III.....	14
7.3.4.4. Área IV	17
8. BIBLIOGRAFÍA.....	22

1. INTRODUCCIÓN

Esta Hoja a escala 1:25.000 de Andoain (64-IV), forma parte de la la Hoja a escala 1:50.000 de San Sebastián (65), constituyendo su cuarto cuadrante. La zona que pertenece a la Comunidad Foral de Navarra en esta Hoja se reduce a la esquina suroriental, en un zona fronteriza con la provincia de Guipúzcoa que está limitada al norte por el río y el pantano de Añorbe y al Oeste por una sierra de dirección Norte-Sur.

Topográficamente, la Hoja esta pertenece a la vertiente del río Urumea, que atraviesa esta zona Navarra en sentido sur-norte, y a cuya cuenca vierten sus aguas todos los cauces. Como en toda esta zona del Norte de Navarra, la topografía es muy accidentada, lo que incide en la presencia de importantes desniveles y, en general terrenos abruptos, que generalmente suelen ir acompañados de una tupida cobertera vegetal, lo que dificulta sobremanera la observación de los posibles afloramientos geológicos. Solamente en cumbres elevadas, desaparece la vegetación, dando paso a ecosistemas de alta montaña, donde las comunidades vegetales son muy escasas y poco desarrolladas, principalmente debido a las adversas condiciones climatológicas.

La máxima elevación de la Hoja se encuentra al sur de la alineación montañosa señalada, en concreto en el monte Leuneta de 882 mts. Los puntos más bajos se localizan en la salida del curso fluvial de río Urumea donde la cota es de 45 metros de altitud.

Se trata de una zona escasamente poblada, ya que a excepción de la localidad de Goizueta, en el valle del Urumea, y del núcleo de Arano, no existe ningún otro núcleo urbano perteneciente a Navarra. En el resto de la hoja, solamente aparecen caseríos dispersos, existiendo zonas totalmente despobladas en la zona oriental de la hoja.

La red de comunicaciones es muy deficiente, como corresponde a una zona tan complicada topográficamente y con pocos núcleos urbanos. En esta zona solamente aparece una carretera de la red secundaria, que comunica Leiza con Andoain, en la que se ubica la población de Goizueta. De esta carretera parte un ramal que lleva hasta Arano.

Desde el punto de vista geológico, la Hoja de Andoain forma parte de la Zona Norpirenaica, separada de la zona sur por la falla Norpirenaica, situada al Sur, en la Hoja de Sumbilla. La hoja, en su parte Navarra, es de una gran monotonía geológica, ya que toda ella se incluye dentro del macizo paleozoico de Cinco Villas, representado por una potente serie de esquistos y pizarras que ocupa toda la zona.

El macizo paleozoico de Cinco Villas forma parte de la zona Axial de la cordillera Pirenaica. Este orogeno pirenaico grandes rasgos, se caracteriza por un cinturón de pliegues y cabalgamientos de orientación E-O, desarrollados entre el Cretácico superior y el Mioceno inferior, como resultado de la convergencia entre las placas Ibérica y Europea, presenta una elevada simetría con respecto a la franja central denominada Zona Axial, integrada fundamentalmente por rocas plutónicas y materiales paleozoicos, que constituyen el zócalo regional. Flanqueando a la zona axial, se disponen las zonas Nor y Surpirenaica, constituidas por materiales mesozoicos y paleógenos, intensamente plegados, que integran la cobertera. La Hoja de Vera de Bidasoa se localiza en el primer dominio.

En cuanto al Arco Vasco, se sitúa en el extremo oriental de la Cuenca Vasco-Cantábrica, considerada tradicionalmente como un sector marginal de la cadena pirenaica y constituida por materiales mesozoicos y paleógenos moderadamente deformados, que muestran cierta similitud con los de la Zona Norpirenaica. El límite entre el Pirineo Occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica coincide con un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona (o de Estella-Elizondo), cuyo reflejo superficial es la alineación de diapiros navarros. Dicho accidente no supone un límite arbitrario, ya que a ambos lados del mismo, se aprecia una importante variación de las características estratigráficas y estructurales de los materiales aflorantes.

El macizo de Cinco Villas, según la terminología de HEDDEBAUT (1973), se puede diferenciar en dos dominios desde el punto de vista estratigráfico: el dominio oriental, que estaría representado por materiales fundamentalmente devónicos, y el dominio occidental, en el cual se englobaría toda esta Hoja de Andoain, caracterizado por una litología muy monótona y pobre en fósiles. Existe una controversia en cuanto a su edad, pero, últimamente, se acepta el Carbonífero como su edad más probable.

Además, la tectónica del macizo es sumamente compleja, consecuencia de la superposición de las orogénias hercínica y alpina lo que ha ocasionado la existencia de superposición de pliegues y la fracturación del macizo en grandes bloques. Este hecho es apreciable en distintos puntos de la Hoja y especialmente en las “Calizas de Aranzaz” que forman la base de las distintas unidades que aparecen.

La cartografía de esta Hoja esta basada en la realizada a escala 1:25.000 por la DIPUTACIÓN FORAL DE NAVARRA, la Hoja de San Sebastián a escala 1:50.000 del plan MAGNA, y los datos cartográficos de distintos estudios. Sobre todas se ha realizado la pertinente actualización cartográfica y geológica en base a criterios estructurales y sedimentarios fundamentalmente.

Son numerosos los trabajos de carácter general que pueden encontrarse en la literatura geológica regional acerca de la Cuenca Vasco-Cantábrica y el Pirineo, tal como podrá apreciarse en el capítulo correspondiente a bibliografía. De entre los que afectan de forma específica al territorio ocupado por la Hoja, destaca el realizado por HEDDEBAUT (1973), sobre los macizos paleozoicos vascos y PESQUERA (1985), más dedicado a la mineralogía, petrología y metalogenia del Macizo de Cinco Villas, son los más importantes y en ellos se basarán algunas de los comentarios realizados en esta memoria.

2. ESTRATIGRAFÍA

La estratigrafía de esta Hoja se ha realizado basándose en criterios secuenciales, definiendo unidades tectosedimentarias limitadas por rupturas deposicionales con expresión cuencial. En cada unidad así definida y delimitada se han cartografiado los distintos cuerpos litológicos, determinando hasta donde ha sido posible, sus variaciones espaciales y sus relaciones de facies.

La descripción de los niveles cartográficos se ha realizado con el apoyo de las distintas bases de datos elaboradas en esta Hoja, agrupándose dichos niveles en las diferentes unidades tectosedimentarias que se han definido en esta región, teniendo en cuenta la escala de trabajo y su carácter, eminentemente cartográfico.

Los materiales aflorantes en la Hoja de Andoain pueden agruparse en dos grandes conjuntos: Paleozoico y Cuaternario, cuyas características y distribución presentan acusadas diferencias estando totalmente ausentes los depósitos pertenecientes al Terciario. Del Mesozoico solamente aparece un retazo del Buntsandstein al sur de la Hoja. Además de estas unidades, el cuarto noroccidental está ocupado por los materiales graníticos del Macizo de Peñas de Aya.

El Paleozoico aparece representado en el dominio estructural del macizo de Cinco Villas que se prolonga hacia Francia.

Este macizo, se encuentra separado del Macizo de Alduides, por la falla Norpirenaica, presentando, ambos dominios, características litológicas, sedimentológicas y tectónicas diferentes, sin aparente correlación estratigráfica.

2.1. PALEOZOICO

Los materiales paleozoicos aflorantes en esta Hoja se asocian a los al macizo estructural del macizo de Cinco Villas. Se extiende por toda la Hoja a excepción del macizo de Peñas de Aya en afloramientos muy poco visibles y en general con una gran monotonía litológica.

2.1.1. Devónico-Carbonífero

2.1.1.1. Esquistos, pizarras y grauwacas alternantes (nivel 64). Frasniense-Westfaliense

Es la unidad paleozoica que ocupa la práctica totalidad de la Hoja, a excepción de unos pequeños retazos de Buntsandstein.

Se trata de una monótona alternancia rítmica entre esquistos y grauwacas en facies "Culm", cuya potencia puede llegar a los 1000 m, que corresponden a subarkosas con matriz sericítica cementada por óxidos de hierro, con biotita alterada a clorita. El techo de este conjunto se encuentra afectado por una discordancia de carácter regional que separa esta unidad de la inmediata superior.

Los niveles de pizarras, se encuentran en general poco metamorfizados, aunque se reconoce un metamorfismo creciente de oeste a este

Los niveles areniscosos presentan granoselección positiva, laminación paralela en la base y, ocasionalmente, "ripples" a techo; esporádicamente aparecen tramos de "slumping" y "debris-flow". Su depósito presenta carácter turbidítico, con inclusión de olistolitos carbonatados procedentes de las plataformas carbonatadas namurienses, en la base de la serie. Estas turbiditas son de tipo talud, asimilables a un sistema turbidítico de tipo III (MUTTI, 1985)

Se han datado por restos fósiles entre los niveles calcáreos que se sitúan en el intervalo Devónico superior-Westfaliense.

2.1.1.2. Análisis secuencial del Devónico-Carbonífero

En esta zona del macizo de Cinco Villas es difícil establecer con precisión secuencias deposicionales ya que únicamente se identifica una única macrosecuencia, que comienza por el desarrollo de plataformas carbonatadas a las que sigue un cambio paleogeográfico importante, con instalación de aparatos turbidíticos en cuyos episodios iniciales se produce el desmantelamiento de las plataformas carbonatadas namurienses.

2.2. MESOZOICO

Está únicamente representado por unos retazos de areniscas en facies Buntsandstein.

2.2.1. Triásico

Después de la formación de la cadena Hercínica Pirenaica y su posterior peneplanización, la sedimentación en la cuenca se reanuda con la deposición de las facies detríticas rojas del Buntsandstein.

2.2.1.1. Conglomerados (nivel 101), areniscas rojas y grises (nivel 103), areniscas y arcillas (nivel 104). Facies Buntsandstein. Triásico inferior.

En general las facies “Buntsandstein” poseen un marcado carácter detrítico, así como una tendencia granodecreciente y típicos tonos rojizos; su espesor, aunque variable, puede alcanzar 500 m.

Su base está marcada por una discordancia sobre la que se dispone un tramo conglomerático poligénico muy cementado (nivel 101), de cantos subredondeados de cuarzo, cuarcita, y liditas con diámetro medio de 3-8 cm y tamaño máximo 12 cm con soporte clástico en matriz arenosa de grano grueso a medio, mal clasificada y cemento de naturaleza silíceo. Intercalados entre estos conglomerados se observan niveles de areniscas de geometría lenticular, con tamaño de grano medio a grueso, cicatrices irregulares de erosión tapizados por “lag” de cantos, con laminación paralela. Hacia techo se observan láminas cruzadas de bajo ángulo y estratificación cruzada de surco laxo. En general, se organizan en niveles de tendencia tabular groseramente gradados, con eventual estratificación cruzada planar de láminas muy inclinadas. Su potencia puede alcanzar 25 m.

Sobre el tramo conglomerático se dispone un conjunto esencialmente arenoso rojo (nivel 103), próximo a 300 m. de espesor. En su mitad inferior predominan las areniscas de grado medio y composición cuarcítico-micáceas, con cemento silíceo y a veces ferruginoso, así como matriz limosa-arenosa bien cementada, frecuentemente alterada a limonita. A veces se observan impresiones en los cantos de origen mecánico, por compresión de unos cantos con otros. El tamaño de los cantos,

varia normalmente entre 1 y 10 cm, aunque puede llegar a 20 cm muy heterométricos y redondeados. Se organizan en secuencias positivas de relleno de canales fluviales de baja sinuosidad integrados por sets tabulares de láminas cruzadas y cosets de estratificación cruzada de mediana escala, de tipo surco y planar. Estas facies son típicas de barras arenosas longitudinales y transversales de cauces trenzados asociados a las zonas intermedias de un abanico fluvial.

Esta unidad 21 es la única que aparece del Buntsandstein en la Hoja de Andoain, en un pequeño afloramiento en el borde Sur de la Hoja.

Los análisis petrológicos de areniscas han señalado ciertas variaciones composicionales y texturales, pero en general los valores están comprendidos entre 50 y 75% de cuarzo, e inferiores al 10% de fragmentos de rocas metamórficas y plagioclasa; en la mayor parte de los casos se observa matriz arcillosa (10-12%) y cemento silíceo o ferruginoso (15-30%). Dichos análisis han permitido su clasificación como sublitoarenitas en la mayor parte de los casos, con cuarzoarenitas en menor proporción.

2.2.1.2. Análisis secuencial del Triásico

Aunque el Triásico está muy poco desarrollado en esta Hoja, únicamente aflorante en pequeñas retazos a lo largo de la falla de Aritxulegui, teniendo en cuenta los datos procedentes de las hojas contiguas, es posible señalar a grandes rasgos, algunas de las características de los ciclos sedimentarios

El inicio del Ciclo Inferior se caracteriza por el desarrollo de orlas proximales y medias de abanicos aluviales correspondientes a la facies "Buntsandstein" (nivel 101), que reflejan la reactivación del relieve tras la reestructuración tardihercínica. La evolución secuencial está caracterizada por una disminución del tamaño de grano, relacionada con una degradación del relieve o con una mayor extensión del área de relleno en las fosas generadas durante el período tardihercínico. Con ello, se produce la aparición sucesiva de sistemas fluviales de alta sinuosidad, sistemas fluviales de sinuosidad media y sistemas meandriformes, con episodios de desbordamiento

2.3. CUATERNARIO

El Cuaternario de la hoja 64-IV presenta escasa variedad y se limita a depósitos fluviales y de gravedad (fondos de valle, conos de deyección, coluviones y deslizamientos).

2.3.1. Holoceno

2.3.1.1. Bloques y arcillas (nivel 545). Deslizamientos.

Los deslizamientos son de pequeño tamaño y se limitan a unos pocos ejemplos situados en los parajes de Añon Buru y Casa Malla. En otras ocasiones lo que se observa es la cicatriz de despegue, al haber desaparecido la masa deslizada por erosión fluvial. Por su morfología externa y por las pendientes en las que se han originado, parecen ser, todos ellos de carácter traslacional. La masa deslizada está constituida por una acumulación caótica de bloques y arcillas, siendo aquellos de gran tamaño. La potencia de la masa en movimiento puede llegar en algunos casos a tener unos 7-10 metros.

2.3.1.2. Cantos, gravas, bloques y arcillas (nivel 543). Coluviones.

Los coluviones son formas de gravedad que se desarrollan en las laderas, por lo general al pie de las mismas, lo que no impide que se puedan encontrar a diversas alturas. El tamaño es muy variable y está en función de la longitud de la ladera, del estado del material que los alimenta y del grado de estabilidad que ofrezca la pendiente. Están formadas por una acumulación caótica de cantos y bloques, con una abundante matriz arcillosa. Cada coluvión estará formado por las litologías que tenga en la parte superior de la ladera, pero en la hoja 64-IV, la mayoría son pizarras y grauvacas del Macizo Paleozoico de Cinco Villas, por lo que serán estos materiales. También puede ocurrir que un coluvión puede estar constituido por una acumulación de bloques con pocos finos, mientras que otro lo esté por una acumulación de finos con bloques. Lo que sí se mantiene en todos ellos es el carácter anguloso de los clastos, debido al escaso transporte que han sufrido, la poca coherencia de los mismos y un espesor variable. En este grupo se han incluido, también, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones,

estos depósitos que parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, son, en realidad coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los elementos más finos. La edad atribuida a estos depósitos es Holoceno.

2.3.1.3. Gravos, cantos, arenas y arcillas (nivel 527). Fondos de valle.

Los fondos de valle de la hoja 64-IV quedan limitados al valle del río Urumea. Las observaciones realizadas en el terreno muestran que se trata de depósitos de cantos y gravas de naturaleza cuarcítica y caliza fundamentalmente, apareciendo además elementos de cuarzo, grauvacas y algunas areniscas. El tamaño medio está comprendido entre 6 y 8 cm, con algunos tamaños mayores. La matriz arenoso-arcillosa es pardo o pardo-grisácea y presenta algunas concentraciones de carbonatos. La potencia de estos depósitos oscila entre 2 y 5 m, aunque puntualmente puede ser mayor. Los cortes no son muy buenos y es difícil realizar algún perfil, no obstante se observan puntualmente estratificaciones cruzadas, cicatrices erosivas e imbricaciones de cantos. Sobre estos depósitos se desarrolla un suelo pardo de vega poco evolucionado. La edad asignada a estos depósitos es Holoceno.

2.3.1.4. Arenas, gravas, cantos y arcillas (nivel 536). Conos de deyección.

Apenas existen ejemplos de este tipo de depósitos, los existentes se localizan en el valle del río Urumea, a la salida de algunos arroyos y barrancos que desembocan en él. Son de pequeño tamaño y se caracterizan por su típica forma en abanico y por sus perfiles, longitudinal y transversal, convexos. Uno de estos ejemplos se puede observar en la esquina sureste de la hoja, cerca del paraje de Iturriaz.

Los conos de deyección puesto, que proceden de los arroyos menores, ofrecen variaciones locales en la litología de sus elementos, dependiendo del conjunto litológico que los alimente. También varía mucho el tamaño de los cantos desde el sector apical al distal, dominando, en este último, los sedimentos finos. La potencia dentro del mismo depósito, y en el mismo sentido anterior, puede oscilar entre pocos cms y varios metros, aunque, en este caso, no parecen superar los 3 m. Se consideran pertenecientes al Holoceno.

3. TECTÓNICA

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES

La Hoja de Andoain se sitúa en el extremo más occidental de la Cadena Pirenaica, cadena alpina se extiende desde el Golfo de Vizcaya hasta el Mediterráneo, y próxima a la Cuenca Vasco Cantábrica y esta ocupada en su práctica totalidad por materiales paleozoicos pertenecientes al Macizo de Cinco Villas. (Fig 3.1). Transversalmente, la cadena de los Pirineos presenta una aparente simetría a partir de un eje constituido por los materiales paleozoicos. Esta alineación montañosa es la resultante de la compresión producida entre las placas Europea e Ibérica y ha sido clasificada y subdividida en numerosas ocasiones, siendo una de las más utilizadas la realizada por MATTAUER y SEGURET (1.971), basada en criterios estructurales y estratigráficos. En ella se diferencian la Zona Axial, constituida fundamentalmente por materiales paleozoicos dispuestos a modo de eje de simetría de la cadena, dos zonas mesoterciarias despegadas, denominados Nor y Surpirenaica y dos antepaises terciarios plegados.

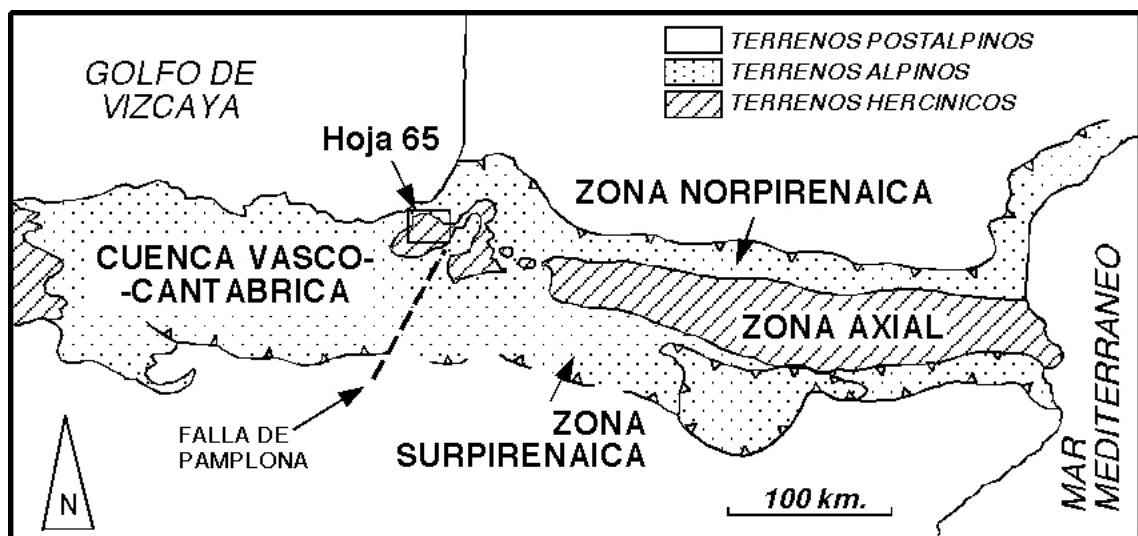


Fig 3.1: Situación de la zona de estudio en la geología regional

El diferente comportamiento de los materiales frente a la deformación permite distinguir los siguientes dominios estructurales: “zócalo”, constituido por los materiales hercínicos; “tegmento”, formado por los depósitos de las facies “Buntsandstein” y “Muschelkalk”; “nivel de despegue” integrado por las facies “Keuper” y “cobertera”

constituida por la serie sedimentaria jurásico-paleógena. En general el zócalo y la cobertera se han deformado independientemente gracias al nivel de despegue de las evaporitas triásicas, con una deformación mucho más acusada de la cobertera, si bien en la Zona Axial el zócalo también ha sido estructurado e incorporado a las estructuras alpinas, aunque la superposición de fases tectónicas dificulta la diferenciación de la deformación hercínica de la alpina, máxime cuando ambos ciclos, el hercínico y el alpino, se manifiestan polifásicamente.

De todos estos términos, en la zona que ocupa la Hoja de Andoain, solamente se encuentran los materiales paleozoicos que forman el zócalo, pertenecientes a la zona axial pirenaica, estando ausentes los depósitos posthercínicos: triásicos y cretácicos que aparecen en las hojas contiguas. Únicamente un retazo de areniscas del Buntsandstein aparece en una banda limitada por fallas que sigue una dirección ENE-OSO. A pesar de este hecho es indiscutible que la orogenia alpina tuvo influencia en la deformación sufrida por el macizo.

El paleozoico del Macizo de Cinco Villas no tiene el carácter de “zócalo”, entendido este como un zócalo cristalino que reacciona frágilmente ante unos esfuerzos tardíos. Por el contrario, la potente sucesión de sedimentos pelíticos, muy poco metamorfizados, no se han comportado de forma rígida ante las deformaciones alpínicas, por lo que, a las estructuras originadas durante la orogenia hercínica, se han sobrepuesto las producidas en la orogenia alpina.

3.2. ESTRUCTURAS DEL BASAMENTO PALEOZOICO (OROGENIA HERCINICA)

Los materiales paleozoicos en el cuadrante de Andoain forman parte del denominado “Macizo de Cinco Villas”, el afloramiento más occidental de la “Zona Axial” de los Pirineos, mayoritariamente constituido por una serie alternante de materiales pelíticos y detríticos de carácter flyschoides, de edad carbonífera.

Las características estructurales del Paleozoico son complejas, debido, tanto a la superposición de las Orogenias Hercínica y Alpina, como a la proximidad del stock granítico de Peñas de Aya, con la deformación adicional que supuso su intrusión. A esta complejidad tectónica se añaden otros dos factores que dificultan la comprensión de la estructura: por un lado la monotonía litológica de los materiales carboníferos paleozoicos en la que no se aprecian niveles guía, a excepción del contacto con las

denominadas “Calizas de Aranaz” y algunos niveles conglomeráticos y calizos intercalados en la serie pero de poca continuidad espacial, y por otro, los afloramientos son escasos y pésimos, condiciones que no permiten observar y estudiar la estructura, que puede llegar a ser muy compleja en detalle.

Son varios los autores que han estudiado la tectónica del macizo de Cinco Villas. Entre los autores más recientes destacan CAMPOS, 1979; HEUSCHMIDT, 1977, AIZPIRI et al., 1984 y MARTINEZ-TORRES et al., 1984.

El primero de ellos, CAMPOS (1979) distingue dos fases hercínicas (F_1 y F_2), una deformación producida por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya, una fase hercínica tardía que produce kink-bands y dos fases alpinas. HEUSCHMIDT, por el contrario incluye cuatro fases hercínicas (F_1 , F_2 , F_3 y F_4), una fracturación tardihercínica y dos fases alpinas (F_5 y F_6). Por su parte, AIZPIRI et al. (1984) proponen tres fases hercínicas, en parte coincidentes con las anteriores.

MARTINEZ-TORRES et al. (1984) diferencia tres fases principales y una fase tardía de generación de kink-bands. Tomando como referencia esta clasificación las fases de deformación hercínica se pueden resumir en:

- Fase H1: representada por pliegues isoclinales tumbados, de escala decimétrica y dirección dispersa, con vergencia poco clara, posiblemente W. Lleva asociada una pizarrosidad (“slate cleavage”) muy penetrativa a escala del macizo, subparalela a la estratificación (S_0), especialmente en los flancos de los pliegues. Las direcciones principales de estas estructuras son N-S a N 20° E (Fig. 2.2).
- Fase H2: desarrolla pliegues angulares decimétricos, de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación subvertical muy desarrollada. Tanto los pliegues como las esquistosidades son los rasgos estructurales más característicos del macizo de Cinco Villas (Fig. 2.2).

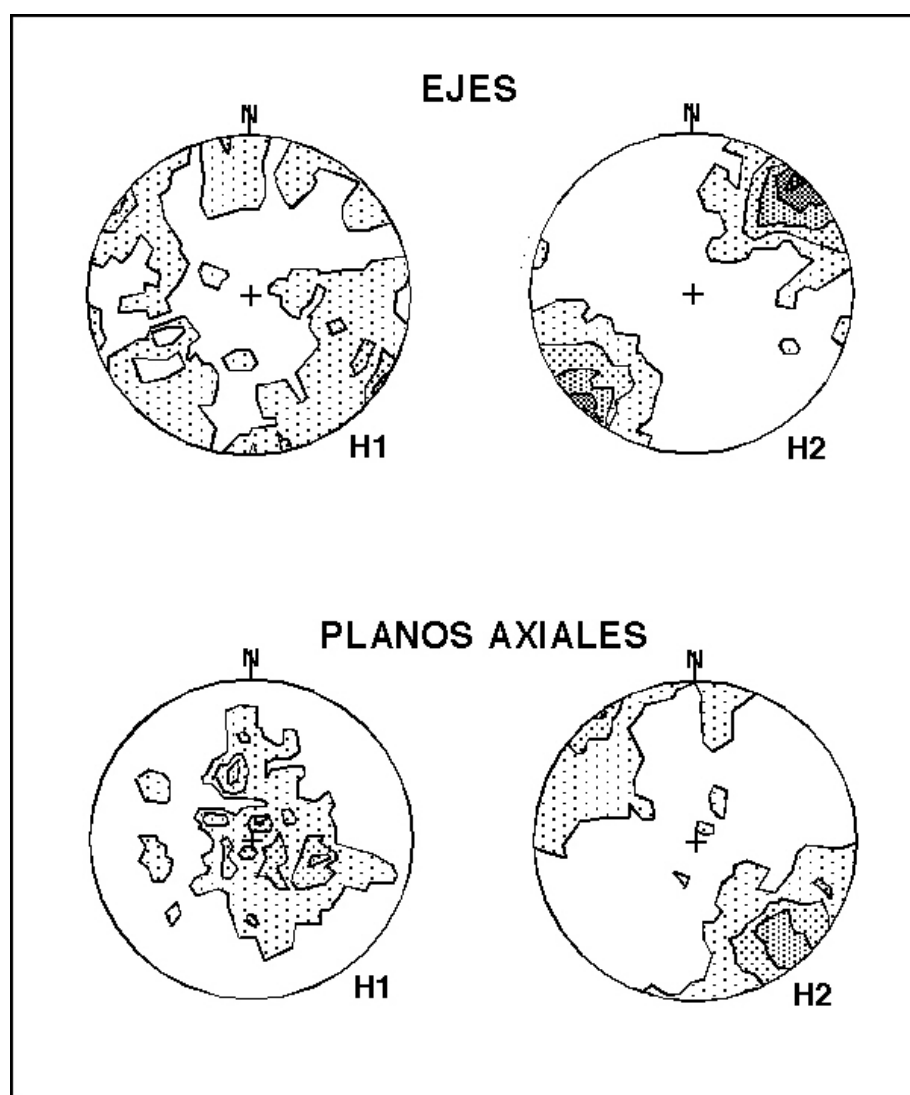


Fig. 3.2: Proyección equiangular en el hemisferio inferior de ejes y polos de planos axiales de la primera H1 y segunda H2 fases hercínicas del Macizo de Cinco Villas. (MARTINEZ-TORRES, 1984)

- Fase H3: desarrollo muy localizado de pliegues angulares decimétricos NW-SE, ortogonales a los pliegues de la fase anterior, con esquistosidad vertical asociada muy poco desarrollada.
- Presencia local de Kink-bands tardíos

Como todas las zonas que han sufrido una historia tectónica compleja, con más de una fase de plegamiento, la cartografía de las estructuras de la Hoja de Ventas de Irún es complicada y difícil. Por otra parte, debe considerarse que en esta hoja, la mayor parte del territorio está ocupado por el Granito de Peñas de Aya. Si a esto se

agrega la ausencia de niveles guía y la escasez de afloramientos, el conjunto resulta muy poco comprensible a la hora de establecer la estructura de la zona y su historia tectónica.

Sin embargo, a partir de la cartografía realizada, las medidas estructurales obtenidas, así como los datos procedentes de estudios anteriores y las hojas contiguas se pueden establecer una serie de conclusiones sobre la estructura del macizo paleozoico de Cinco Villas en la zona que comprende la Hoja de Andoain.

3.2.1. Descripción de las principales estructuras

Las únicas estructuras que aparecen en la hoja son fracturas que aunque muestran una dispersión pueden asociarse a distintas familias:

- Fracturas N-S (N 5° W): Muy poco representadas en la Hoja.
- Fracturas N 20° E. Esta es una dirección de fracturación que está presente en todo el macizo de Cinco Villas y en esta hoja de Andoain aparecen en toda la extensión de los materiales paleozoicos.
- Fracturas N 20° W: Oblicuas a las anteriores, también aparecen en toda la extensión del macizo de Cinco Villas. Y también como las anteriores, en algunas zonas, ponen en contacto mecánicamente los Calizas de Aranaz con la sucesión pelítica

Asociadas a estas fracturas aparecen diques de diabasa, especialmente concentrados al sur de la unidad caliza de Aranaz. Su dirección principal es NE-SW, por lo que por su disposición espacial están asociadas a fracturas de la fase de deformación H2. En menor medida también aparecen diques con orientación N20°O,

3.3. ESTRUCTURAS ORIGINADAS POR LA INTRUSIÓN GRANÍTICA

El macizo granítico de Peñas de Aya tiene una forma elíptica cuya bóveda posee una dimensión superficial (75 km² aproximadamente) comparable con la de los granitos sensu stricto (PESQUERA, 1985). Esta forma elíptica muestra un eje mayor de dirección aproximada NE-SO, dirección en la que se debió de producir el inflamiento.

Aunque esta bóveda está dislocada por numerosas fallas, lo que ha afectado a su geometría original, su forma es más congruente con intrusiones sincinemáticas que con intrusiones postcinemáticas, que tienden a dar formas equidimensionales.

Las medidas de la esquistosidad regional obtenidas en el macizo de Cinco Villas y, especialmente, en la aureola de contacto del granito muestran una adaptación al contorno del stock granítico.

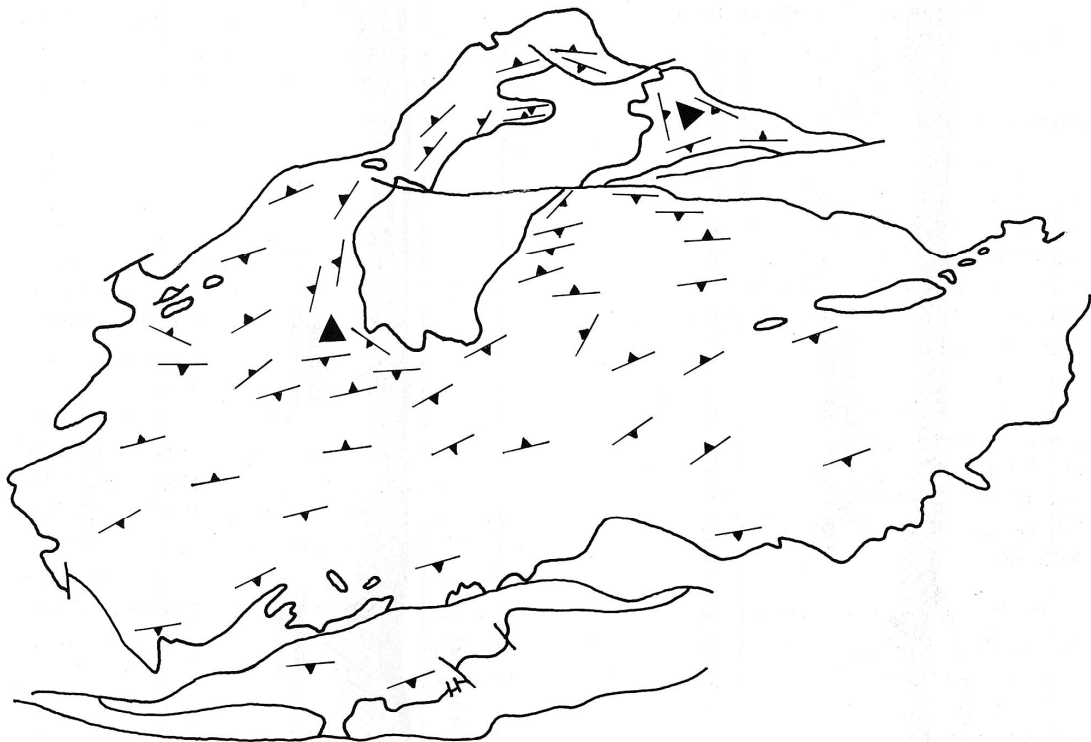


Fig 3.3: Trayectoria de la esquistosidad regional en el Macizo de Cinco Villas. (Según Pesquera, 1985)

Para CAMPOS (1979), este hecho se debe a la deformación de bóveda debida a la propia intrusión del stock, y por tanto posterior a la fase tectónica principal. Por el contrario, para PESQUERA (1985), esta esquistosidad representa la traza del plano principal de aplastamiento producido durante la 2ª fase de deformación hercínica. Mientras que se produce una orientación global ENE-OSO en zonas alejadas de la intrusión, en las zonas próximas, la esquistosidad regional pasa a adaptarse a los contornos del macizo, de tal forma que inyección magmática y deformación tectónica son procesos simultáneos en el tiempo.

La única zona donde este hecho de adaptación de la esquistosidad a la forma del granito no se produce, es en los alrededores del embalse de Domiko, al sur de la aureola de metamorfismo en esta Hoja de Ventas de Irún.

3.4. CRONOLOGÍA DE LA DEFORMACIÓN.

La evolución tectónica de la región puede referirse a dos grandes ciclos, muy desigualmente representados en la Hoja: el ciclo hercínico, puesto de manifiesto por los materiales paleozoicos, que ocupan gran parte de toda esta zona y el ciclo alpino, caracterizado por los materiales mesozoicos, representados en el Sinclinal de Vera-Zugarramurdi, el Sinforme de Etxalar y en los afloramientos que aparecen a lo largo de la falla de Aritxulegui. Además aparecen las deformaciones sufridas por la intrusión del stock granítico de Peñas de Aya.

El primer ciclo, el ciclo hercínico, se caracteriza por la existencia de tres fases de deformación, en los que destaca la primera fase, que origina pliegues isoclinales tumbados de dirección norteada, con desarrollo de pizarrosidad acusada, subparalela a la estratificación, posteriormente se produce una nueva fase que produce pliegues angulares decimétricos de dirección NE-SW, con esquistosidad de crenulación vertical muy desarrollada y dominante en todo el macizo. La tercera fase origina pliegues angulares en zonas muy localizadas. Finalmente, en las etapas tardías de la deformación hercínica, se desarrollan kink-bands muy locales.

De estas fases, únicamente las dos primeras están presentes en todo el macizo, mientras que la tercera fase de pliegues angulares y kink-bands lo hacen en zonas muy localizadas y concretas.

Durante el período Estefaniense-Pérmico tuvo lugar una fase de fracturación a escala continental, conocida como etapa tardihercínica y caracterizada por la génesis de desgarres de direcciones NE-SO y NO-SE. Entre los accidentes tardihercínicos más destacados en la historia posterior de la región, se encuentran la Falla de Pamplona, situada al Este de esta zona, entre los macizos de Cinco Villas y Alduides, que representa el límite de la Zona Surpirenaica y la Cuenca Vasco-Cantábrica; y la Falla de Leiza, localizada al S del Macizo de Cinco Villas, que es la continuación occidental de la Falla Norpirenaica, y representa el límite entre las placas Ibérica y Europea,

desempeñando un papel fundamental en la apertura del Golfo de Vizcaya, y como línea transformante durante la traslación y giro de Iberia.

Los accidentes tardihercínicos son de gran importancia en la historia tectónica de esta región, ya que constituyen un elemento fundamental durante el posterior ciclo alpino: Su reactivación durante la distensión mesozoica controló la geometría de las cuencas de sedimentación y durante la compresión terciaria actuaron como zonas de debilidad, a favor de las cuales se produciría el desplazamiento de cabalgamientos y desgarres.

En esta Hoja, la evolución tectónica durante el ciclo alpino, apenas puede reconstruirse, ya que los únicos rasgos que pertenecen a este ciclo aparecen reflejados en los escasos depósitos pertenecientes al Mesozoico y a los que aparecen superpuestos a las estructuras paleozoicas en el macizo de Cinco Villas. Sin embargo, de la evolución general de la región se pueden extraer una serie de eventos producidos durante el ciclo alpino.

Durante la fase prealbiense, en relación con el giro sinextroso de Iberia respecto a la estable Europa, se produjeron las primeras diferenciaciones posthercínicas. En esta época se reactivaron las fracturas tardihercínicas, acompañadas de movimientos verticales, que ocasionaron el levantamiento de los macizos hercínicos, como el Cinco Villas, y el subsiguiente arrastre de gran parte de la cobertera permo-triásica.

Las siguientes fase de actividad tectónica tuvo lugar durante el rifting cretácico superior, en las que la compartimentación en bloques levantados y hundidos se acentuó aun más; así se produjo el levantamiento de los macizos de Cinco Villas y Larún, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera.

Por último en las fases terciarias de plegamiento alpino, fase pirenaica, se produjeron deformaciones del zócalo con formación de pliegues y desarrollo de fracturas de gran envergadura. Es en este período cuando la falla de Aritxulegui alcanza su mayor desarrollo. El carácter dextroso de esta falla se explica como un accidente tardihercínico que rejuega ante unos esfuerzos submeridianos.

4. GEOMORFOLOGIA

4.1. DESCRIPCIÓN FISIAGRÁFICA

La hoja, a escala 1:25.000, 64-IV se sitúa al noroeste de la Comunidad Foral de Navarra, pero sólo una cuarta parte de la misma pertenece al territorio navarro, y es la que se sitúa en el sector suroccidental. Sus límites con el País Vasco, concretamente con la provincia de Guipúzcoa son, los ríos Urumea y Añarbe, por el norte, y la cuerda Naparralde- Ganzako Gana-San Miguel Soroa, por el oeste.

Fisiográficamente, toda la zona pertenece al Macizo Paleozoico de Cinco Villas, con predominio de pizarras y grauvacas, lo que da lugar a un relieve muy homogéneo. La topografía es muy abrupta con grandes contrastes altimétricos, debido a un fuerte encajamiento de la red de drenaje. Se trata de una zona de cabecera donde destacan los procesos erosivos, limitándose, los de sedimentación, casi exclusivamente a las laderas. La altura media es de unos 400 m, destacando como cotas más altas los parajes de Leuneta (852 m), Zamieta (672 m), Pico de Errekaldo (709 m) y Añona (584 m). Las cotas más bajas se localizan en el fondo de los valles principales, donde llegan a alcanzar valores inferiores a los 100, como sucede en el valle del Urumea, en el límite con Guipúzcoa.

La red de drenaje se ordena en torno al río Urumea, de la vertiente cantábrica, y a su principal afluente el Añarbe, parcialmente embalsado y ambos drenan gran parte del macizo de Cinco Villas.

Las características climáticas más generales, referidas a precipitación y temperatura, se reflejan en el esquema morfoclimático, a escala 1:100000 que acompaña al mapa geomorfológico. En él se observa que la precipitación media está comprendida entre los 1400 y 1700 mm, correspondiendo los valores más altos del sector septentrional y los más bajos al meridional. Las temperaturas medias oscilan entre 8 y 10° C con máximas de 36°C y mínimas de -8° C. Aunque estos datos definen un tipo climático Mediterráneo con régimen de humedad Mediterráneo Húmedo, lo cierto es que hay una cierta tendencia a la continentalidad y, una cierta influencia del clima de montaña con precipitaciones de carácter sólido.

La red de comunicaciones es prácticamente inexistente, a excepción de algún camino que discurre por los valles y en las proximidades del embalse. El resto lo constituyen una serie de senderos de mayor o menor entidad. Esta situación no permite el fácil acceso a la totalidad de la superficie de la hoja, lo que se complica con unas altas pendientes y una vegetación muy tupida.

La principal ocupación de la zona se centra en la agricultura y la ganadería. Existe también una importante riqueza maderera debido a los numerosos bosques existentes. Son de interés los bosques de hayas, además de tejos, serbales y una gran variedad de arbustos y plantas herbáceas. En algunos casos existen prados con apariencia alpina aunque no son demasiado frecuentes.

4.2. ANTECEDENTES

Los trabajos geomorfológicos relativos a este sector del Pirineo Navarro Occidental, son muy escasos, por no decir prácticamente inexistentes. Existen sin embargo algunas cartografías y algunos textos de carácter general o regional que han servido de punto de partida a este estudio.

Uno de los mayores avances es el que se produce en las últimas décadas con motivo de la realización de las hojas geológicas, a escala 1:50.000, del Plan MAGNA. Entre ellas hay algunas en las que ya se incluye un mapa geomorfológico a escala 1:100000, donde se destacan algunos de los rasgos principales del relieve de la zona. Con anterioridad, se realiza una cartografía a escala 1:25000, por la Diputación Foral de Navarra, de toda la provincia. Ambas cartografías han sido la base de partida para el desarrollo de este trabajo.

Por otra parte, la realización por el I.T.G.E. del “Mapa del Cuaternario de España” a escala 1:1.000.000 y por el I.T.G.E y ENRESA del “Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España”, también a escala 1:1000000 contribuye con algunos datos, al conocimiento de este sector de Navarra.

Finalmente, la realización de la cartografía geomorfológica, a escala 1:25.000, de la mayoría del territorio navarro, para el proyecto “Revisión de la Cartografía Geológica, a escala 1:25.000”, realizado por el Gobierno de Navarra, proyecto al que pertenece

este estudio, y del que existen ya numerosas hojas confeccionadas, ha permitido obtener bastantes referencias para la geomorfología del norte navarro.

4.3. ANALISIS MORFOLÓGICO

En este apartado se describe el relieve teniendo en cuenta dos aspectos, uno estático o morfoestructural y otro dinámico o relativo a la actuación de los procesos exógenos sobre un determinado sustrato y bajo unas condiciones climáticas dadas.

4.3.1. Estudio morfoestructural

Desde el punto de vista geológico-estructural, esta zona se enmarca en el Pirineo occidental, en su confluencia con el Arco Vasco. El límite entre el Pirineo occidental y la Cuenca Vasco-Cantábrica es un accidente transversal a la cadena, de dirección NE-SO, conocido como falla de Pamplona, cuyo reflejo es la alineación de una serie de diapiros, conocidos como diapiros navarros.

Más concretamente, en la hoja 64-IV, la estructura general de la misma viene definida por el Macizo Paleozoico de Cinco Villas. No existen formas estructurales menores como escarpes, resaltes de capas duras o crestas, quizás por el predominio de pizarras, lo que implica que la principal influencia se refleje en la morfología y en la distribución de la red de drenaje. La linealidad de algunos cauces, la orientación preferente de muchos de ellos, según directrices regionales y los cambios bruscos en los perfiles longitudinales de los ríos, indican que las líneas de agua buscan preferentemente las zonas de debilidad como pueden ser una falla o fractura, una zona de materiales blandos o un contacto litológico. Se observan dos direcciones preferentes: una submeridiana ENE-OSO y la otra N-S. La primera corresponde a las estructuras principales y la segunda, se acerca más a la fracturación y a la dirección de máxima pendiente

Por lo que se refiere a la morfología general de la red de drenaje, en planta, se reconoce como de tipo dendrítico y densidad media. Este tipo de red es característica de zonas donde la litología es muy homogénea, como sucede en la hoja, o donde existe una litología alternante dispuesta en series monoclinales. Hay que añadir que no participan de esta morfología los principales cursos de agua, el Urumea y el

Añarbe, que, por el contrario, ofrecen un recorrido meandriforme con algunos tramos rectilíneos o sinuosos.

4.3.2. Estudio del modelado

En este apartado se enumeran y describen las diferentes formas generadas bajo la actuación de los agentes externos, ya sean de carácter zonal (climáticos) o azonal (fluviales, de gravedad, etc.). Tanto las formas denudativas como las acumulativas se describirán según los procesos que las han generado o según los sistemas morfogénéticos a los que pertenecen.

4.3.2.1. Formas de ladera

Dentro de este grupo se han incluido dos tipos de depósitos: coluviones y deslizamientos.

- Los coluviones son formas de ladera que se desarrollan, por lo general, al pie de las mismas, formando bandas alargadas paralelas a los cauces, pero también suelen encontrarse a diferentes alturas en las vertientes. El tamaño es muy variable dependiendo de la estabilidad de la ladera, de la fracturación de los materiales y de la orientación de la misma. Aunque son muy abundantes, en la cartografía no están todos los que son. La, fuertes pendientes producen gran cantidad de derrubios, pero que a veces se limita a una delgada película de cantos y bloques, por otra parte, la densa vegetación no siempre permite una observación clara y directa de estos depósitos. Lo que sí es cierto es que por cualquier camino o sendero que se recorra, siempre aparecen. Están formados por una acumulación caótica de cantos y bloques, con matriz arcillosa. En esta hoja, a diferencia de otras en las que hay mayor variedad litológica, la composición de los coluviones es bastante homogénea, siendo las pizarras y las grauvacas los componentes mayoritarios. Los tamaños, bastante desiguales, pueden llegar a alcanzar tamaños métricos, aunque lo habitual son medias de 20-40 cm. Se han incluido en este grupo los canchales porque muchas veces esa acumulación de cantos sin matriz, corresponde a un depósito coluvionar que ha sufrido un intenso lavado

superficial. En hojas próximas se han observado, además, otros depósitos de ladera como son los derrubios ordenados.

- Los deslizamientos son de pequeño tamaño y muy escasos. Algunos ejemplos pueden observarse en los parajes de Añón Buru y Casa Malla. En otros puntos como en el caserío de Mitxelena Zabala, lo único que queda son las huellas de las cicatrices de despegue, posiblemente al haberse erosionado la masa deslizada.

4.3.3. Formas fluviales

Dentro de la hoja 64-IV las formas fluviales alcanzan una gran representación, dominando todas aquellas de carácter erosivo. Entre las sedimentarias se han reconocido los fondos de valle y los conos de deyección y como erosivas, incisión vertical, arroyada difusa, erosión lateral del cauce, aristas y cabecera de cárcavas.

- Los fondos de valle se limitan al aluvial del río Urumea. La morfología de este aluvial es alargada, estrecha y de trazado meandriforme. Hacia el sur de la hoja y con una dirección casi S-N, este aluvial se ensancha algo más, hasta unos 200 m, adquiriendo un trazado más rectilíneo, siendo en ese ensanchamiento donde se instala la pequeña localidad de Espidealdea. El resto de los valles apenas tienen depósito que, como ya se ha señalado anteriormente, se debe a que se trata de una zona montañosa, de cabecera, donde predominan los procesos de encajamiento y no de sedimentación.
- Los conos de deyección, también pertenecen a este grupo y son muy escasos en toda la hoja. Se originan a la salida de algunos arroyos y barrancos en su confluencia con otros cauces de rango superior. Algunos ejemplos se pueden ver en el valle del río Urumea y en las márgenes del embalse del río Añarbe. Se caracterizan por su típica forma en abanico y por sus perfiles longitudinal y trasversal convexos. Es frecuente que por su relación con los fondos de valle, se superpongan a ellos o, incluso se interdentan con sus depósitos.
- En cuanto a las formas de carácter erosivo se han reconocido y cartografiado zonas de excavación lateral de los cauces, muy notables en los valles Urumea y Añarbe con formación de escarpes de paredes verticales en los que se

producen inestabilidades. También hay procesos de incisión vertical en las cabeceras de ríos y arroyos, dando lugar a una importante red de incisión. Entre arroyo y arroyo, y debido a esta incisión acusada, las divisorias son muy agudas, dando lugar a lo que se conoce como aristas.

Por otra parte, los procesos de incisión, no sólo dan lugar a barrancos en “v” sino que también dan otras morfologías como cabeceras de cárcavas, cuyo único ejemplo se encuentra casi al sur de la hoja, en las proximidades del paraje Anbeliz. Por últimos, en muchas laderas y como inicio de procesos de incisión, se aprecian surcos producidos por la arroyada. Estos surcos, en un futuro, profundizarán incorporándose a la red de incisión.

4.3.3.1. Formas poligénicas

- A este grupo pertenecen todas aquellas formas que son el resultado de la actuación de varios procesos. En la hoja 64-IV, la única representación la constituyen una serie de divisorias suaves, no tan abundantes como las aristas, pero con una buena representación. Su formación es debida a procesos fluviales y quizás edáficos porque este tipo de divisorias suelen tener siempre un pequeño suelo o un material de alteración, aunque casi siempre de poco desarrollo.

4.4. FORMACIONES SUPERFICIALES

Las formaciones superficiales han sido definidas por Goy et al (1981) como todos aquellos materiales, coherentes o no, que han podido sufrir una consolidación posterior y que están directamente relacionados con la evolución del relieve que se observa en la actualidad.

La principal característica que poseen es su cartografiabilidad a la escala de trabajo. Por otra parte deben quedar definidas por una serie de atributos tales como geometría, textura, génesis, potencia y, en ocasiones, edad.

- De las formaciones superficiales de ladera sólo se tendrán en cuenta los coluviones y los deslizamientos. Los primeros se caracterizan por tener litología y textura heterogéneas y una escasa compacidad. Cada uno de ellos

depende de los materiales existentes en la parte superior de la ladera, así, un coluvión puede estar constituido por una acumulación de bloques con pocos finos, mientras otros lo están por una acumulación de finos con fragmentos angulosos de varios tipos, es decir, de grauvacas, pizarras, cuarcitas, areniscas, etc. Lo que sí se mantiene en todos ellos es el carácter anguloso de los clastos, debido al escaso transporte que han sufrido, la poca coherencia de los mismos y un espesor variable. En este grupo se han incluido, también, los canchales puesto que no siempre es fácil diferenciarlos de los coluviones. En muchas ocasiones, estos depósitos que parecen una simple acumulación de cantos y bloques sin matriz, son, en realidad coluviones que han sufrido un proceso de lavado superficial que se ha llevado los elementos más finos. La edad atribuida a estos depósitos es Holoceno.

- Los deslizamientos están constituidos por una masa caótica de bloques y arcillas, a veces estos bloques son de gran tamaño y consisten en el material original con escasas modificaciones. La potencia de la masa en movimiento puede llegar en algunos casos a tener unos 7-10 m.
- En cuanto a las formaciones superficiales de carácter fluvial, la más importante la constituyen los fondos de valle. Al igual que en las hojas contiguas, están constituidos por depósitos de cantos y gravas de naturaleza cuarcítica, grauváquica, fundamentalmente, con clastos de calizas, algunas pizarras y cuarzo.. La matriz arenoso-arcillosa es pardo o pardo-grisácea y presenta algunas concentraciones de carbonatos. El tamaño medio está comprendido entre 6 y 8 m, con algunos tamaños mayores. La potencia de estos depósitos oscila entre 2 y 5 m, aunque puntualmente puede ser mayor. Sobre estos depósitos también se desarrolla un suelo, algo más potente que el de las terrazas. Se corresponde con un suelo pardo de vega, poco evolucionado. Se les asigna una edad holocena.

Los conos de deyección, puesto que proceden de los arroyos menores, ofrecen variaciones locales en la litología de sus elementos, dependiendo del conjunto de materiales que los alimente. Sus cantos son muy variables del sector apical, con los mayores tamaños, hasta el distal, donde que dominan los sedimentos finos. La potencia dentro del mismo depósito puede oscilar desde pocos cms hasta varios

metros. Los conos existentes se localizan en el valle del río Urumea y en las márgenes del embalse del río Añarbe.

4.5. EVOLUCION GEOMORFOLOGICA

La evolución geomorfológica de un sector reducido es difícil de establecer sin tener en cuenta el contexto regional en el que se sitúa. En este sentido la hoja 64-IV, a escala 1:25.000, estructuralmente se sitúa en los Pirineos occidentales y más concretamente en el contacto con la Zona Axial y el Arco Vasco. Como ya se ha señalado con anterioridad, la tectónica es muy complicada debido a la confluencia, en un área próxima, de dos grandes fallas; la falla de Pamplona y la falla de Leiza, continuación esta última de la falla Norpirenaica.

Desde un punto de vista geomorfológico, el nivel de referencia más antiguo con rasgos claros en el relieve es una superficie de erosión, que aunque no aparecen en esta hoja, lo hace en las próximas de Cizur y Garralda. El problema principal de esta superficie es conocer su edad puesto que no existen sedimentos recientes y próximos que puedan correlacionarse con ella. No obstante, este arrasamiento podría correlacionarse con la Superficie de Erosión Fundamental de la Cordillera Ibérica (PEÑA et al,1984) por sus características, por los materiales sobre los que se desarrolla y por las cotas a las que aparece, entre 1.000 y 1.100 m. En este caso, su edad sería Vallesiense-Plioceno, asignándole una cronología amplia, y coincidiendo con el final del ciclo neógeno, representado en las grandes cuencas por las calizas del Páramo. A pesar de ello, la ausencia, en este sector, de depósitos de esta edad, impide reconstruir de manera clara la evolución reciente. La realización de la cartografía geomorfológica, a escala 1:25.000, en hojas próximas, permite ya completar muchos de los datos de los que se carecían.

Si se considera que el Cuaternario implica el inicio del encajamiento de la red fluvial, es a partir de entonces, desde cuando puede considerarse la evolución del relieve que se observa en la actualidad.

A partir de este encajamiento se producen una serie de procesos erosivos y sedimentarios que van modelando la superficie. Por una parte, los cauces principales van erosionando los relieves produciendo un vaciado importante, pero que en los momentos de avenida, dejan su huella por medio de una serie de depósitos conocidos

como terrazas. Paralelamente en las laderas existen también áreas de erosión y áreas de sedimentación, dándose, en estas últimas coluviones, glaciares, canchales, deslizamientos, etc.

A medida que el Cuaternario avanza (Pleistoceno medio y superior) la red fluvial sigue su encajamiento iniciándose la instalación de la red secundaria. Todo ello implica que las laderas siguen modelándose y que se crean nuevos interfluvios. La morfología de las vertientes (cóncavas, convexas, en “v”, en “u” en artesa, etc) depende en cada caso de la litología, del clima y de la tectónica local.

Al mismo tiempo que estos procesos se van desarrollando, tienen lugar otra serie de manifestaciones: poligénicas, periglaciares, etc... que contribuyen a definir, e incluso a modificar la morfología local.

4.6. PROCESOS ACTUALES

La hoja 64-IV ofrece una serie de procesos funcionales en la actualidad que, aunque no son de gran envergadura, deben ser tenidos en cuenta de cara a su futura evolución o a las consecuencias inmediatas que puedan producir. Estos procesos son:

- Fluviales

- De gravedad

Los procesos fluviales son quizás los más interesantes, destacando en la mayoría de los relieves, una importante red de incisión vertical. Ello es debido en gran parte a las fuertes pendientes y a la red de fracturas que afectan a estos macizos, también influye la existencia de una litología alternante. Otro proceso de erosión fluvial es la que se produce en los cauces, pero con componente lateral, como sucede en los codos y meandros de los ríos Urumea y Añarbe. La erosión se produce en las márgenes cóncavas, dando lugar, en numerosas ocasiones, ataludes verticales con pequeñas inestabilidades.

Por lo que a las vertientes se refiere, sólo pueden mencionarse los deslizamientos en pizarras y en los casos en que la pizarrosidad o la dirección de fracturación favorezca la puesta en movimiento de una cierta masa.

A la vista de las características de este sector, no se prevén cambios importantes de la morfología en un futuro inmediato. Sin embargo las alteraciones mayores de carácter local se deberán a la acción fluvial.

5. PETROLOGIA

La Hoja de Andoain, en su territorio navarro, está formada casi exclusivamente por materiales pelíticos, a los que aparecen asociadas algunas rocas filonianas de cuarzo, siendo éstas las únicas filonianas y subvolcánicas que aparecen, a diferencia de las hojas contiguas donde también aparecen ofitas y diabasas.

5.1. ROCAS FILONIANAS

5.1.1.1. Cuarzo (nivel 7)

Los filones de cuarzo se desarrollan siguiendo direcciones preferentes de fractura, encajados tanto en las rocas ígneas del macizo granítico de Peñas de Aya, como en los esquistos paleozoicos. Se trata de un cuarzo lechoso, en el que aparecen muy frecuentes tintes amarillos y anaranjados debido a la presencia de óxidos de hierro.

5.2. METAMORFISMO REGIONAL

Como señala PESQUERA (1985), es difícil establecer las condiciones físicas del metamorfismo regional del macizo de Cinco Villas. Supone que se ha desarrollado a temperaturas menores de 450° en un régimen de bajas presiones. Para llegar a esta conclusión, se basa en los cambios mineralógicos, como el grado de variación de la illita, ya que su cristalinidad aumenta progresivamente, hasta marcar unas claras condiciones epimetamórficas, donde se desarrollan una zona de clorita y una zona de biotita restringidas a dos áreas concretas del macizo (fig 5.1).

Cualquier otra consideración acerca de la naturaleza de los fluidos, señala, es más incierta todavía, aunque señala que, siendo el grado de grafitización de la materia carbonosa similar que en las zonas homólogas de la aureola de contacto, podría indicar que el metamorfismo regional se produjo como respuesta a la existencia de domos térmicos generados probablemente por cuerpos ígneos intrusivos. Por estos motivos, concluye, los fenómenos de plutonismo, metamorfismo y deformación constituyeron un fenómeno conjunto en un momento dado de la historia hercínica.

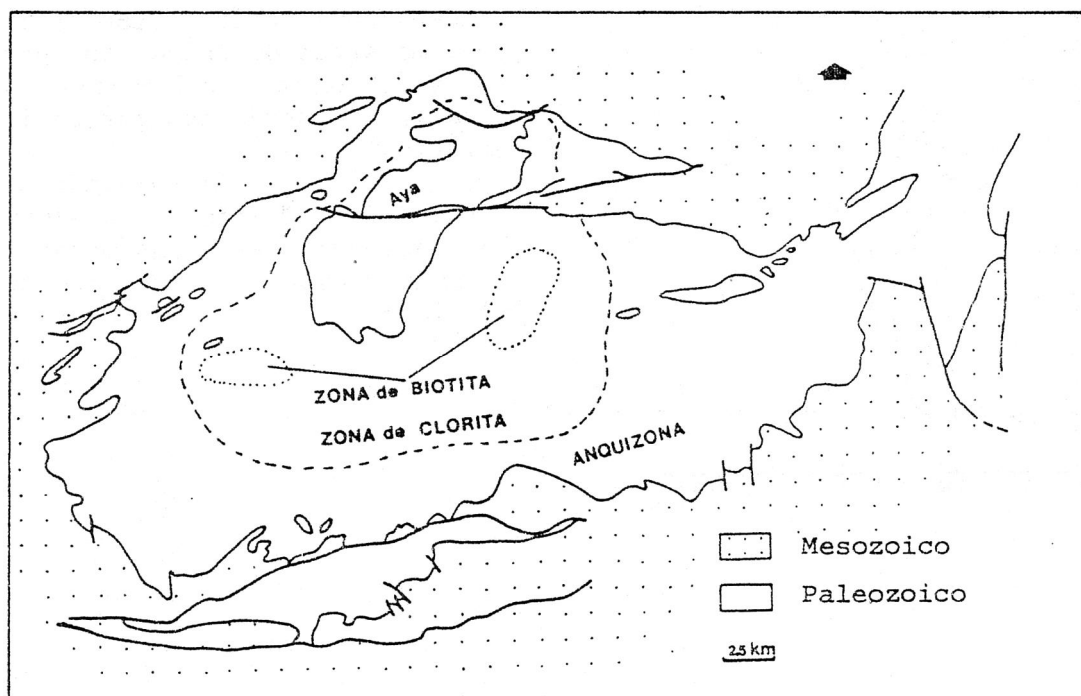


Fig 5.1: Límite anquizona-epizona y distribución aproximada de la zona de la biotita en Cinco Villas PESQUERA (1985)

6. HISTORIA GEOLÓGICA

En este apartado se pretende dar una visión generalizada de la evolución paleogeológica de la zona que se extiende por las Hojas a escala 1:50.000 nº 64 (San Sebastián) y nº 65 (Vera de Bidasoa).

En su realización, se ha prestado especial atención a los eventos tectónicos principales y a los ciclos sedimentarios que afectan a este sector de las estribaciones de la cordillera pirenaica

En esta región y a grandes rasgos, la historia puede referirse a dos ciclos orogénicos principales: hercínico y alpino.

6.1. EL CICLO HERCÍNICO

Los terrenos más antiguos aflorantes en esta región se remontan al Devónico, que en el macizo de Cinco Villas, incluido dentro del Dominio Europeo, presenta diversidad de facies en general de ambientes marinos someros. En estas hojas, la tectónica ha influido notablemente en la serie devónica, presentándose como escamas sobre el Carbonífero, lo que no permite observar una columna litológica continua que pudiera indicar la evolución sedimentológica en la cuenca durante este periodo.

Los materiales más antiguos, datados como Siegeniense-Eifeliense, corresponden a unas areniscas blancas masivas, que debieron depositarse en zonas marinas de plataforma somera. Por encima de estas areniscas aparecen unos esquistos negros con intercalaciones de areniscas pertenecientes a las Fm. Oronoz y Kalforro, indicando que la sedimentación continua en ambientes someros de plataforma.

La formación más potente del Devónico, de edad Eifeliense-Frasniense esta formada por esquistos arenosos y calcáreos. La presencia de estructuras “flasers” y “linsens” indica condiciones ambientales de transición, fundamentalmente mareales, con etapas de predominio marino y la sedimentación de barras calcáreas. Es una serie potente, de 800 metros aproximadamente, lo que indica una gran influencia tectónica en las etapas de sedimentación, con una importante subsidencia en la cuenca, que marcaría el inicio de las posteriores etapas de inestabilidad.

Posteriormente a esta etapa, las cuencas se homogenizan, dando lugar a una etapa en la que la influencia de la tectónica en la sedimentación, marcan el tipo de depósitos. Es en estas circunstancias cuando se produce la sedimentación alternante de detríticos finos y más groseros, que dio lugar a la serie “flyschoides” carbonífera de tipo “Culm” indicando el comienzo de la actividad tectónica. En la base de esta serie, y en zonas próximas a los bordes de las plataformas, se depositó una potente serie de calizas marmóreas. Estas calizas podrían representar complejos arrecifales desarrollados en los márgenes de la plataforma.

Como se ha indicado anteriormente, los primeros procesos de deformación a gran escala tuvieron lugar con posterioridad a la sedimentación de la serie pelítica carbonífera y constituyen los primeros procesos de la orogenia hercínica propiamente dicha. Durante esta fase se produjo la generación de sistemas de plegamiento N-S y NE-SO. En este sector del sistema pirenaico, la principal consecuencia tectónica, consistió en el desarrollo de un cinturón de cabalgamientos, que provocó la superposición del dominio oriental sobre el dominio occidental constituido fundamentalmente por la serie pelítica carbonífera en facies “Culm” cuya sedimentación ya indicaba la inestabilidad tectónica posterior.

La culminación de estos procesos hercínicos tuvo como consecuencia la emersión de las cordilleras durante el Estefaniense, iniciándose los procesos de desmantelamiento de sus relieves, que marcan el final del ciclo orogénico hercínico.

Durante estos episodios es cuando se produce la intrusión del macizo granítico de Peñas de Aya, ocasionando una estrecha aureola de metamorfismo y deformando los materiales carboníferos en los que se encaja.

6.2. EL CICLO ALPINO

El denominado período tardihercínico, acaecido en el intervalo Estefaniense-Pérmico, constituyó un episodio de envergadura continental fundamental para la evolución posterior, correspondiente al ciclo Alpino. Los desgarres generados, de direcciones NE-SO, NO-SE y E-O, controlaron la geometría de las cuencas de sedimentación mesozoicas y más tarde, durante la compresión terciaria, actuaron como zonas de debilidad a favor de las cuales, se siguieron produciendo los desplazamientos de cabalgamientos y desgarres. Entre dichos accidentes se encuentran las fallas de

Pamplona y Norpirenáica, esta última actuando como límite entre las placas Ibérica y Europea.

La estructuración tardihercínica configuró la región como una serie de horsts y grabens paralelos a los accidentes principales en un proceso de rifting intracontinental que condicionó la sedimentación posterior.

En el Pérmico, en esta zona, la fase "saalica", que origina una discordancia entre el Rothliegiense y el Pérmico Superior, periodo en el que se produjo una intensa actividad volcánica que se tradujo en la aparición de basaltos en las áreas de Larún e Ibantelly.

El relleno sedimentario de los surcos dio comienzo por las zonas más deprimidas, durante el Pérmico, periodo en el que se produce la primera sedimentación importante después de la finalización de la orogenia hercínica. Esta sedimentación se origina en pequeñas cuencas de carácter intramontano, con sedimentos procedentes de los macizos elevados, apareciendo con materiales groseros en la base y más finos hacia arriba. La progresión de los rellenos aumentó paulatinamente el área sedimentaria, favoreciendo una disminución energética. Así las cuencas casi colmatadas durante el Pérmico fueron recubiertas por un Triásico en facies "germánica". Los primeros pisos del Buntsandstein sugieren esta disminución energética, con la sedimentación de depósitos fluviales y aluviales que aparecen en las áreas de Larún, sinforme de Etxalar y Legate. En algunas zonas, como el sinforme de Etxalar y zona de Zugarramurdi, esta colmatación concluye con una serie de episodios arcillosos que culminan el relleno de las cuencas.

Según algunos autores (MONTADERT y WINNOCK, 1971), esta etapa correspondería a la primera fase de apertura del Golfo de Gascuña.

Con posterioridad a esta colmatación de las cuencas, la región habría sido nivelada y un ascenso relativo del nivel del mar propiciaría la instalación de una plataforma carbonatada somera en la que se produjo el depósito de la facies "Muschelkalk", que sin embargo, en esta zona solamente está representado en el Sinforme de Etxalar y en pequeños afloramientos.

Durante el periodo Triásico Superior-Cretácico Inferior no existen en toda esta zona indicios directos de sedimentación, debido fundamentalmente a que esta zona constituyó un alto relativo en la sedimentación en estos momentos en que la plataforma se encuentra muy compartimentada, dando lugar a etapas de no sedimentación y a importantes periodos de erosión del material sedimentado anteriormente.

Según los datos regionales, en el Jurásico inferior, se instaló una vasta plataforma carbonatada en un contexto tectónico relativamente estable. En estos sectores, la fase neokimérica, originó el levantamiento de los macizos hercínicos con el consiguiente arrastre de los recubrimientos permotriásicos. Los efectos ocasionados por esta orogénesis se prolongarán durante parte del Cretácico inferior, puestos de manifiesto mediante movimientos distensivos, relacionados con los procesos de rifting del Golfo de Vizcaya y el comienzo de la deriva de la placa Ibérica hacia Europa, originándose dos márgenes, ibérica y europea, separadas por una cuenca axial de dirección N110° a N120°.

Esta deriva antihoraria de Iberia con respecto a Europa tuvo su principal reflejo durante el Albiense, en la que la fase aústrica dio lugar a una nueva reestructuración general. Su principal efecto es la elevación de los macizos paleozoicos, en esta zona los de Larún y Cinco Villas, con la formación entre ellos de la cuenca de Vera, en una distribución próxima a la actual.

Durante el periodo Albiense-Cenomaniense, el ciclo sedimentario se traduce en una acentuación de la distensión entre las dos placas continentales, que coincide sensiblemente con el comienzo de la expansión oceánica en el Golfo de Gascuña. Esta distensión es la responsable de la formación de fosas tectónicas, que en esta zona, están controladas por fallas de dirección E-O y N-S, reactivación de las direcciones principales hercínicas.

La sedimentación, en esta cuenca de Vera, es detrítica, con aportes procedentes de los macizos paleozoicos de Larún y Cinco Villas. Se produce además, en esta cuenca, una sedimentación de tipo subarrecifal en condiciones restringidas, a diferencia de otras cuencas cretácicas más abiertas.

En el Albiense superior-Cenomaniense, la elevación del nivel marino y la continuación de la tectónica distensiva favorece la progradación de la plataforma incluso sobre el sustrato, representados en esta zona por depósitos de calizas arcillosas.

Finalmente, en esta cuenca de Vera-Zugarramurdi, la etapa distensiva tuvo su culminación con el máximo desarrollo de este graben entre una zona de talud, el macizo de Larún, y un dominio de plataforma estable, el macizo de Cinco Villas, que produjo el paso hacia sedimentos de tipo turbidítico.

A partir del Campaniense, la falta de registro sedimentario más moderno no nos permite conocer la evolución posterior de la región. No obstante, y a grandes rasgos, durante el Cretácico superior y el Paleoceno, continúa la sedimentación turbidítica, en una cuenca tectónicamente estable con ciertos estadios concretos de inestabilidad.

Durante el Paleoceno Medio aparecen unas nuevas inestabilidades que se desarrollan hasta el Eoceno Medio. La deformación de esta zona a partir del Luteciense, resulta del movimiento hacia el Norte de las unidades meridionales. Es en esta época cuando las principales fases pirenaicas se pliegan y emergen los materiales depositados, hasta el Oligoceno, cuando tiene lugar la mayor actividad orogénica que culmina en la emersión de todos los relieves tal y como aparecen en la actualidad.

7. GEOLOGÍA ECONÓMICA

7.1. RECURSOS MINERALES

Solamente aparecen dos indicios mineros en la zona Navarra de la Hoja de Andoain. Ambos son de rocas industriales. El primero de ellos es una antigua mina RAMON 3175, en la que se explotaba un filón de cuarzo. El otro indicio es una antigua explotación de gravas en el valle del Urumea, en el paraje de Loma Calcutequi, al Norte de la población de Goizueta. Ambas están abandonadas en la actualidad.

7.1.1. Interés potencial de los recursos mineros

Al no existir un conocimiento exhaustivo con respecto a minerales metálicos y explotaciones en todo el ámbito navarro hacen que su aprovechamiento futuro sea contemplado como algo remoto y que, en cualquier caso, pasaría por la realización de estudios geológico-mineros que determinasen la ubicación y ley de los yacimientos.

Las rocas industriales parecen ofrecer un futuro más prometedor a juzgar por sus demandas actuales y por su abundancia en el marco de la Hoja. Entre ellos, la caliza constituye una de las sustancias de mayor interés actualmente, existiendo importantes afloramientos en la región; de ellos, destacan por su extensión y accesibilidad las Calizas de Aranaz, cuya aplicación más inmediata son los áridos empleados para diversos tipos de obras públicas. Por el contrario, las pizarras y esquistos de la serie pelítica carbonífera carecen de interés.

7.2. HIDROGEOLOGÍA

7.2.1. Introducción

La hoja escala 1:25.000 de Andoain (65-IV) comprende una zona montañosa de relieves contrastados, pertenecientes al macizo de Cinco Villas, con dos áreas litológicamente bien definidas, donde afloran depósitos paleozoicos en una serie pelítica monótona. La cuenca principal de esta zona es la del Urumea, a la que vierte sus aguas el río Añarbe, perteneciente a la cuenca cantábrica.

El régimen de humedad es del tipo Húmedo y en cuanto al régimen térmico corresponde al tipo Templado Cálido. La combinación de estos parámetros, permite determinar para esta zona, según PAPADAKIS, un clima Marítimo, Templado Cálido, con una temperatura media anual comprendida entre 8°C y 11°C y una precipitación media anual del orden de 1500 mm.

La evapotranspiración potencial es del orden de 620 mm según el método THORNTHWAITE y la real del orden de 550 mm para capacidades de campo entre 50 y 100 mm.

7.2.2. Descripción hidrogeológica

Entre las formaciones aflorantes en el ámbito de la Hoja de Andoain (64-IV), solamente se ha distinguido una única unidad que por sus características hidrogeológicas, son susceptibles de desarrollar acuíferos.

Como acuíferos principales se consideran las formaciones con permeabilidad media-alta cuya potencia y extensión permite desarrollar buenos acuíferos ya sean detríticos o kársticos. De esta categoría no parece ningún acuífero en esta zona. Los acuíferos secundarios engloban formaciones con permeabilidad menor o muy variable o bien aquellos materiales que presentan buenas condiciones por sus parámetros hidrogeológicos pero que su extensión no permite su desarrollo.

Dada la monotonía litológica de la zona, únicamente se ha distinguido un acuífero de carácter secundario en los materiales paleozoicos y otro en los cuaternarios:

Acuíferos secundarios	Paleozoico
	Cuaternario

7.2.3. Acuíferos secundarios

7.2.3.1. Acuíferos aislados del Paleozoico (Devónico y Carbonífero)

Carbonífero: Se incluyen los materiales calcáreos correspondientes a la formación Elorzuri. En conjunto se trata de calizas y dolomías, en ocasiones intensamente recristalizadas, con un espesor muy variable. Los afloramientos calcáreos del Carbonífero no son muy numerosos en esta hoja y están reducidos a pequeños lentejones intercalados en la serie pelítica.

En general, estos niveles paleozoicos presentan un elevado grado de recristalización y se encuentran muy compartimentados por efecto de la tectónica regional que les afecta, por este motivo en ocasiones los niveles acuíferos se encuentran desconectados unos de otros y su permeabilidad disminuye por el recrecimiento cristalino que impide la circulación de agua subterránea.

7.2.3.2. Cuaternario

El Cuaternario de esta Hoja está representado fundamentalmente por los depósitos de fondos de valle que presentan una litología cantos y gravas, de naturaleza calcárea, cuarcítica, areniscosa y otras, envueltos en una matriz arenoso-arcillosa

La geometría de estos depósitos, en planta, es alargada y muy estrecha con un trazado serpenteante.

Hidrogeológicamente, se estima una permeabilidad media-alta, por porosidad intergranular, para estos depósitos, debido a la granulometría y al bajo grado de compactación que presentan. Predomina la permeabilidad media cuando las lutitas son mayoritarias en la matriz.

La Llanura de Inundación de principales cursos fluviales, presenta muy escaso desarrollo y está constituida fundamentalmente, por materiales terrígenos finos: arcillas y lutitas con intercalaciones de arenas y ocasionalmente gravas.

Hidrogeológicamente se trata de formaciones prácticamente impermeables, debido al predominio de materiales arcillosos y lutíticos.

El sistema de terrazas, esta así mismo muy poco desarrollado, constituido por un conjunto de gravas y cantos de naturaleza cuarcítica y calcárea mayoritariamente con una matriz areno limosa o areno arcillosa.

Estos depósitos tienen un grado de permeabilidad medio-alto, debido a la elevada porosidad intergranular que presentan. No obstante dado su escaso desarrollo y extensión no constituyen acuíferos de importancia, aunque la utilización conjunta asociada a los cursos superficiales resulta altamente interesante.

Los coluviones y deslizamientos están formados por acumulación de materiales al pie de los relieves montañosos, con mayor o menor espesor y ordenados o no, según el grado de madurez del depósito. Existe en esta Hoja un mayor predominio de formas coluvionares con una extensión superficial limitada.

Litológicamente están formados por depósitos sueltos, de cantos o bloques con matriz arcillo-lutítico-arenosa, que dificulta la percolación.

Hidrogeológicamente presentan una permeabilidad media-baja en función de su litología, la potencia en general es pequeña, no superando los 5 m, dado el gran relieve que presenta esta Hoja.

7.2.4. Funcionamiento hidrogeológico

En los materiales paleozoicos del macizo de Cinco Villas, se localizan algunos manantiales dispersos con caudales variables que no suelen superar los 3 l/s, aunque pueden presentar incrementos estacionales en la época de lluvias. En general estos acuíferos son pequeños y con respuesta rápida a la recarga.

CODIGO	NOMBRE	U.HIDROG	UTMX	UTMY	Q.AFORO	Fecha
945	AZCUA	90	611493	4785795	1.50	25/01/71
924	ARRUTE	90	610287	4787043	0.25	20/01/70

2493	ITURRIETA	90	618333	4789621	1.75	11/07/77
952	BAGATEA	90	613372	4788053	0.63	26/01/71
972	BERECOITURRIZA	90	616386	4787744	0.40	03/02/71
961	ALCHATE	90	614520	4787606	5.84	29/01/71
948	AZCUA	90	611477	4785949	5.73	26/01/71
948	AZCUA	90	611477	4785949	6.12	29/06/77
923	SINDOLA	90	610043	4787600	0.43	20/01/71
946	AZCUA	90	611180	4785774	1.35	25/01/71
926	AMUSENEA	90	611098	4786243	0.95	20/01/70
949	AUSNARRI	90	611477	4786513	0.43	25/01/71
992	ARRECHEA	90	611485	4787251	0.30	09/02/71
956	AGUERREA	90	613363	4786294	2.65	28/01/71
957	ERROITI	90	614457	4786594	0.72	28/01/71
959	ECHEVERRIGARAY A	90	613621	4785887	0.52	28/01/71
960	ALZURI	90	614072	4785094	0.72	28/01/71
962	BAZTAN	90	615309	4785886	0.51	29/01/71
928	MUGUERDI	90	608472	4788800	0.03	21/01/71
983	ARTOLA	90	613052	4788722	3.16	05/02/71
973	ITURRIBELTZA	90	616526	4787293	2.54	03/02/71
947	AZCUA	90	611200	4785918	1.57	25/01/71
933	ANCHURDENEA	90	611091	4789091	0.20	22/01/71

983	ARTOLA	90	613052	4788722	1.67	29/06/77
986	APEZTI	90	609582	4789090	0.13	06/02/71
987	AXULAR	90	609315	4789153	0.71	06/02/71
988	CACHON	90	610040	4788990	0.07	06/02/71
931	BERRUTA	90	610702	4789141	0.72	22/01/71
966	BASATEA	90	611049	4788403	0.28	02/02/71
967	BALAXIN	90	611555	4789023	0.75	02/02/71
940	BECOCHECONENO	90	610185	4785817	1.00	23/01/71
971	ARRUSEA	90	610869	4788165	0.09	02/02/71
921	CAROIZAR	90	609026	4786524	0.13	20/01/70
932	ANCHURDENEA	90	611011	4789627	0.11	22/01/71
984	ARRANCELAYA	90	613357	4789130	0.38	05/02/71
985	ANSONEA	90	614339	4788600	1.13	05/02/71
977	EZTUCO	90	616360	4789143	0.22	04/02/71
978	AMIGUA	90	615960	4788945	0.22	04/02/71
929	BIATZERDI	90	608925	4788540	0.54	21/01/71
917	ARRACOIZ	90	607905	4788207	1.25	19/01/71
919	EGUILLUN	90	608526	4786662	0.51	19/01/71
918	ARTENEA	90	609350	4787036	0.01	19/01/71
942	AMBULUCHOCO	90	609877	4786322	1.62	23/01/71
930	AXLULAR	90	610692	478971	0.13	21/01/71
1884	LAVATOCO	90	619036	4788121	1.89	25/03/71

979	IRIARTEA	90	615101	4788506	0.32	04/02/71
927	LATZABEA	90	608125	4788823	0.02	21/01/71
1885	AMEZTI	90	619959	4788305	2.25	25/03/71
1886	AMEZTI	90	619792	4788005	0.34	25/03/71
1907	ARQUEICETA	90	619310	4784654	0.69	02/04/71
1890	GARCIENECO	90	617129	4786704	4.25	26/03/71
1890	GARCIENECO	90	617129	4786704	3.18	12/07/77
915	ZUGUIPUNTA	90	608861	4787391	0.01	19/01/71
1887	INDARTEKO	90	618999	4787709	3.06	12/07/77
968	INCEA	90	616676	4789684	1.25	02/02/71
1908	LOGUI	90	619570	4783185	0.26	02/04/71
1909	LOGUI	90	619939	4783162	0.63	02/04/71
1888	MARIMOZ	90	617240	4787354	2.13	26/03/71
1889	MARIMOZ	90	617222	4787220	3.49	26/03/71
1889	MARIMOZ	90	617222	4787220	2.43	12/07/77
1883	SUMURCHUCO	90	619118	4788282	2.33	25/03/71
1910	ZUBIRICO	90	618147	4787056	0.74	05/04/71
10087	ARLA	90	618972	4782529	3.05	01/11/72
10087	ARLA	90	618972	4782529	1.42	12/07/77
2493	ITURRIETA	90	618333	4789621	3.69	16/03/71
1887	INDARTEKO	90	618999	4787709	4.00	25/03/71
951	SAGARZU	90	612754	4787930	0.39	26/01/71

922	LACATENEA	90	609596	4787228	0.10	19/01/71
920	SAINDUNEMENDI	90	609255	4786194	0.44	19/01/71
614	ZAMUJO	90	608684	4787341	0.05	19/01/71
916	URCULLU	90	608763	4787016	1.00	19/01/71
954	TURRUTACO	90	611076	4786519	1.50	27/01/71
953	TURRUTACO	90	610977	4786746	0.37	27/01/71
941	LOITACOSABELA	90	610121	4785879	1.48	23/01/71
1066	ITURREON	90	609344	4786218	2.26	01/02/71
950	GUARTEA	90	611918	4788351	0.67	26/01/71
965	LECUMBERRI	90	616374	4786374	0.67	29/01/71
963	ZAMATELVA	90	615351	4786298	2.45	29/01/71
982	OLACO	90	614217	4788206	0.41	04/02/71
990	SURINEA	90	611845	4786786	0.96	09/02/71
955	SARRICO	90	612752	4786714	0.07	28/01/71
989	OYARBURUA	90	611195	4787153	0.32	09/02/71
991	OTANTI	90	611892	4786354	0.60	09/02/71
958	MOCARRE	90	613382	4786100	0.17	28/01/71
980	GUILLENEA	90	614849	4788476	1.35	04/02/71
981	IRAZACU	90	614944	4788364	1.80	04/02/71
964	LECUMBERRI	90	616202	4785752	2.10	29/01/71
925	LEGARCELAY	90	610823	4786499	0.35	20/01/71

Además de estas existen otras muchas dispersas y de carácter básicamente estacional que drenan los recursos almacenados en los materiales paleozoicos a favor de la red de fracturas que les afecta.

La variación de los caudales de estos puntos de descarga, es significativa, lo que confirma el funcionamiento Kárstico de los materiales que drenan.

La alimentación de todos estos niveles acuíferos se realiza a partir de la infiltración directa del agua de lluvia y de las fuertes escorrentías que se producen en la zona, sobre la extensa superficie aflorante de materiales permeables. En general los niveles acuíferos presentan un comportamiento libre donde aflora y confinado por materiales de permeabilidad muy baja en el resto. Presenta cierto grado de compartimentación por efecto de la tectónica por lo que en ocasiones el funcionamiento hidráulico es independiente. La descarga de estos niveles se produce por numerosos manantiales ubicados en los contactos permeable-impermeable, con caudales muy variables, también se produce un drenaje difuso hacia los cauces fluviales por lo que los depósitos cuaternarios pueden ser recargado por niveles calcáreos. También se realizan extracciones en pozos ubicados en los aluviales de los principales cursos fluviales, que han desarrollado un pequeño sistema de terrazas fluviales, estas captaciones no suelen superar los 10 metros de profundidad.

La composición química del agua subterráneas es relativamente constante en los acuíferos que son uniformes litológicamente. En general se trata de facies bicarbonatadas cálcicas y magnésicas con mineralización débil o muy débil y baja dureza.

7.3. GEOTECNIA

7.3.1. Introducción

En este apartado se describe la cartografía geotécnica de la Hoja a escala 1:25.000 nº 65-IV correspondiente a Andoain, y se establecen las características geomecánicas

de los materiales que la componen.

Esta caracterización geotécnica se ha realizado en función de la disponibilidad de datos geotécnicos que se han podido recopilar en obras y proyectos. En el caso de no disponer de esta información, se efectúa una valoración geotécnica según las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales.

El objetivo de este trabajo es proporcionar al usuario una información geotécnica de carácter general, pero lo suficientemente objetiva como para permitir la toma de posturas iniciales en temas de ordenación del territorio, o prever problemas en el planteamiento y diseño de campañas geotécnicas puntuales.

7.3.2. Metodología

Para la realización de este capítulo se han seguido las siguientes etapas:

1. Recopilación de los datos existentes: Dado que en la Hoja no se han podido recoger datos procedentes de obras y proyectos, realizados en Navarra por organismos públicos y empresas privadas, se ha acudido a las hojas contiguas donde existen datos geotécnicos sobre las mismas unidades
2. Tratamiento de los datos: En esta etapa se trata de establecer, de la manera más adecuada posible la naturaleza actual de la roca, su comportamiento mecánico y/o hidráulico y, la evolución y propiedades de la roca bajo los procesos de meteorización. Los datos recopilados se clasifican en los siguientes grupos:
 1. Identificación; establecen la naturaleza de la roca y su estado natural aparente (granulometría, límites de Atterberg, densidad y humedad, absorción, grado de meteorización).
 2. Clasificación; intentan establecer una idea general del comportamiento de la roca en relación a criterios previamente establecidos. Algunos de estos criterios se fijan en base a resultados de ensayos de resistencia. (Índice de Calidad, resistencia a compresión simple, point load test).
 3. Resistencia, compactación y deformación; determinan parámetros resistivos y relaciones tensión-deformación. Algunos de estos ensayos

se utilizan como base para múltiples clasificaciones (CBR, proctor normal, corte directo, Brasileño).

4. Alterabilidad; evalúa el comportamiento del macizo rocoso frente a los procesos de meteorización, una vez modificados sus condiciones originales de estabilidad. (Análisis químicos, hinchamiento, durabilidad).
3. Zonificación en áreas de iguales características: A partir de los datos anteriormente comentados e interpretando las unidades geológicas cartografiadas, se procede a la zonificación de la superficie de la Hoja en áreas de iguales características (geotécnicas y litológicas). Como se ha señalado con anterioridad, cuando no ha sido posible disponer de ensayos, los criterios seguidos para establecer esta zonificación, han sido las características litológicas, geomorfológicas e hidrogeológicas de los materiales, observadas durante los reconocimientos de campo.

7.3.3. Zonificación geotécnica

7.3.3.1. Criterios de división

Se ha dividido la superficie de la Hoja en función de criterios geotécnicos, en cuatro Áreas que presentan una entidad propia y cierta homogeneidad. Posteriormente, estas áreas han sido divididas a su vez en un total de diecisiete Zonas, siguiendo criterios básicamente litológicos y morfológicos, ya que son estos los que permiten diferenciar desde un punto de vista geotécnico, los materiales de cada área.

De aquellas unidades de las que se dispone información, se aportan datos de identificación, estado, resistencia, deformabilidad y análisis químico.

7.3.3.2. División en Áreas y Zonas Geotécnicas

ÁREA I: Representa rocas ígneas y plutónicas

ÁREA II: Engloba los materiales Paleozoicos

ÁREA III: Comprende los depósitos Mesozoicos

ÁREA IV: Engloba los depósitos Cuaternarios

Estas áreas se han dividido en las siguientes zonas:

ÁREA I: ZONA I₁, I₂,

ÁREA II: ZONA II₁, II₂, II₃, II₄

ÁREA III: ZONA III₁, III₂, III₃, III₄

ÁREA IV: ZONA IV₁, IV₂, IV₃

En el Cuadro 1 se presenta la correlación entre las Unidades Geológicas cartografiadas y las Zonas Geotécnicas.

UNIDAD CARTOGRÁFICA	ZONACIÓN GEOTÉCNICA	DESCRIPCIÓN
524,541,544, 527, 536	IV ₃	Cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos fluviales
519,545,547,537, 543, 550	IV ₂	Bloques, cantos, gravas, arenas y arcillas. Depósitos poligénicos y de gravedad.
523	IV ₁	Arcillas de descalcificación
169,170	III ₄	Calizas y calizas arcillosas
105,151	III ₃	Arcillas, limolitas y yesos triásicos
107,136,168	III ₂	Calizas tableadas y bioconstruidas y dolomías
101,103,104	III ₁	Conglomerados y areniscas
70,71	II ₄	Arcillas

53	II ₃	Areniscas
56,60,65,66, 67	II ₂	Calizas, calizas tableadas, dolomías y silexitas
57,59,64,68, 69	II ₁	Pizarras, esquistos, esquistos arenosos y con intercalaciones calcáreas
5,6	I ₂	Granitos y leucogranitos
7, 2, 1, 44	I ₁	Ofitas, diabasas, basaltos y rocas filonianas

7.3.4. Características geotécnicas

7.3.4.1. Introducción

De los materiales que se disponen ensayos, aunque no sea en esta Hoja, se ha realizado una caracterización geomecánica utilizando los criterios que se señalan más adelante. No obstante, la generalización a cada zona de estos valores puntuales es complicada, sobre todo cuando en ella coexisten varios conjuntos litológicos con un comportamiento geomecánico diferente, y que no admiten ser diferenciados por razones de escala de trabajo. Cuanto mayor sea la heterogeneidad litológica de cada Zona, mayor será la dispersión de los valores; por tanto, la mayor o menor fiabilidad de los datos aportados vendrá condicionada por el grado de homogeneidad litológica de las Zonas Geotécnicas.

De cada Zona Geotécnica se aportan datos sobre características constructivas, tales como condiciones de cimentación, excavabilidad, estabilidad de taludes, empuje sobre contenciones, aptitud para préstamos, aptitud para explanada de carreteras y comportamiento para obras subterráneas. Así mismo, se señalan los principales problemas geotécnicos que pueden presentarse y que en general, van a estar relacionados con la presencia de: turbas o arcillas compresivas, nivel freático superficial, zonas de alteración superficial del sustrato rocoso, erosiones y arrastres de materiales en laderas, desprendimientos de rocas y, finalmente, suelos solubles y agresivos (yesíferos y salinos).

La caracterización geomecánica de los diferentes materiales, se ha realizado con ayuda de los ensayos de laboratorio y de campo. Hay que señalar que el número de ensayos geotécnicos es muy reducido, teniendo en cuenta la extensión de la zona y la diversidad de formaciones existentes, por lo que estos valores deben considerarse como orientativos y en ningún caso pueden sustituir a los ensayos geotécnicos de detalle. Se ha recopilado información de los siguientes ensayos:

- **Granulometría.** Del análisis granulométrico se ha considerado el contenido de finos que presenta el suelo, es decir, el porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200

(0.08 mm) de la serie ASTM. Estos datos son utilizados posteriormente en diversas clasificaciones.

- Plasticidad. La clasificación de los suelos cohesivos según su plasticidad se ha efectuado con el límite líquido (WL) y el índice de plasticidad (IP), utilizando la carta de plasticidad de Casagrande.
- Absorción de agua. Permite obtener una idea del grado de meteorización o fisuración por comparación de muestras del mismo material. Está relacionado con la expansividad del terreno.
- Grado de meteorización. Mediante reconocimientos y descripciones “de visu” se determina el grado de meteorización de las muestras según la siguiente relación:

Grado de meteorización	Denominación
I	Sana
II	Meteorización incipiente (juntas oxidadas)
III	Moderadamente meteorizada
IV	Muy meteorizada
V	Completamente meteorizada

- Índice de calidad (I_Q). Se define como la relación porcentual entre la velocidad de propagación de ondas longitudinales (V_L) en testigos cilíndricos de roca y en roca sana (sin fisuras ni huecos). La Figura 6.1 muestra valores medios de V_L en diferentes tipos de roca en estado sano.

Tipo de rocas	VL media (m/s)
Gabros	7000
Basaltos	6500 a 7000
Cuarcitas	6000
Granitos	5500 a 6000
Calizas	6000 a 6500
Calizas dolomíticas*	6500 a 7500
Argilitas	900 a 2600

Fig. 6.1. Velocidades máximas medias de propagación de ondas longitudinales en los principales tipos de rocas. (* según el contenido en dolomía; según la estructura y grado de alteración).

En general, la velocidad de propagación está en relación inversa con la porosidad de la roca (n). Con el índice de calidad (I_Q) y el valor de porosidad (n) de la roca, puede determinarse la Densidad de Fisuración.

- Ensayo de Carga Puntual (I_s , Kp/cm^2). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente I_s presenta una buena correlación con el ensayo de resistencia a compresión simple (Q_u), mediante la siguiente relación: $Q_u = f \cdot I_s$, donde f es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.

- Resistencia a compresión simple (Q_u , Kp/cm^2). Determina las características de resistencia y deformación de una muestra seca. Respecto a la resistencia de suelos y rocas, existen numerosas clasificaciones; una de la más utilizada, es la descrita por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas:

ROCA		ENSAYO DE CAMPO	
Descripción	Co (MPa)	Navaja	Martillo geológico
Ext. resistente	> 250	No corta	El golpe arranca pequeños trozos
Muy resistente	100 - 250	No corta	Se rompe con muchos golpes
Resistente	50 - 100	No corta	Se rompe con varios golpes
Medio resistente	25 - 50	No corta	Se rompe con un solo golpe
Blanda	5 - 25	Corta con dificultad	Puede indentarse con el pico
Muy blanda	1 - 5	Corta fácilmente	Se puede machacar

Igualmente, considerando la resistencia a compresión simple, se puede valorar la consistencia del terreno, de manera cualitativa.

Tensión de rotura a compresión simple en Kp/cm²	Consistencia
< 0,25	Muy blando
0,25 a 0,50	Blando
0,50 a 1	Medio
1 a 2	Firme
2 a 4	Muy firme
> 4	Duro

- Ensayo Proctor Normal. Permite calcular la densidad máxima y humedad óptima de compactación del suelo o material utilizado en explanada, con el fin de que adquiera las condiciones de estabilidad volumétrica, resistencia, indeformabilidad e inalterabilidad necesarias. En suelos granulares basta conseguir una alta densidad seca, pero en suelos con finos es preciso controlar también las condiciones humedad. La presencia de agua disminuye la presión intergranular, y actúa como lubricante, facilitando el deslizamiento y giro de las partículas entre sí y su agrupamiento en estructuras más compactas. El resultado es una densidad seca más elevada.
- Ensayo de Carga Puntual (I_s , Kp/cm²). Determina la resistencia de una muestra de testigo. Por su facilidad de realización se utiliza en aquellos casos en los que las muestras no reúnen las condiciones necesarias para realizar un ensayo de compresión simple (baja dureza, elevada anisotropía,). Requiere un elevado número de ensayos y un tratamiento estadístico de los mismos para obtener resultados fiables. Generalmente I_s presenta una buena correlación con el

ensayo de resistencia a compresión simple (Q_u), mediante la siguiente relación: $Q_u = f \cdot I_s$, donde f es una constante que depende del diámetro del testigo de roca.

- Ensayo C.B.R. (California Bearing Ratio). Evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas. Se utiliza por tanto para el dimensionamiento de firmes. A mayor CBR, mayor es la capacidad de soporte de la explanada. Normalmente se expresa el valor de CBR para el 95 % y 100% de la densidad Proctor.
- Ensayo de tracción indirecta (σ_{tb} , Kp/cm²). También conocido como “Brasileño”, es un ensayo normalizado de tracción más adecuado para clasificar la resistencia de la roca que la resistencia a tracción. La relación entre la resistencia a compresión simple (Q_u) y la resistencia a tracción (σ_{tb}) en el ensayo brasileño (Q_u/σ_{tb}) aumenta al hacerlo Q_u , pudiendo variar de 10 a 15 para $Q_u < 500$ Kp/cm², y de 15 a 25 para resistencias más elevadas. El criterio de clasificación de rocas con rotura frágil a partir de ensayos brasileños es como sigue:

Resistencia	σ_{tb}, Kp/cm²
Muy débil	0-15
Débil	15-35
Media	35-65
Alta	65-100
Muy alta	> 100

- Ensayo de corte directo. Es un ensayo rápido y económico que permite determinar la cohesión (c) y el ángulo de rozamiento interno (ϕ) de una muestra

de roca o discontinuidad. Es de gran aplicación práctica en el cálculo de estabilidad de taludes.

- Ensayo de Molinete. Permite hallar la resistencia al corte en suelos blandos, principalmente arcillas blandas saturadas o suelos orgánicos.
- Módulo de deformación y coeficiente de Poisson. El módulo de deformación se puede obtener en arcillas sobreconsolidadas, utilizando el valor de la resistencia al corte sin drenaje (C_u) en la correlación $E = 130 \times C_u$ definida por Butler. Para el coeficiente de Poisson se podría adoptar un valor entre 0,30 y 0,35, dependiendo de la consistencia blanda o densa.
- Análisis químico. Se han utilizado los datos de contenido en Materia Orgánica, Carbonatos y Sulfatos. Estos últimos permiten determinar la agresividad del terreno mediante el contenido en sulfatos, valorado según la normativa que se expone a continuación:

En las aguas	En el terreno	Agresividad
< 0,03	< 0,2	Débil
0,03 a 0,1	0,2 a 0,5	Fuerte
> 0,1	> 0,5	Muy fuerte

- Análisis de Hinchamiento. Mide el cambio de volumen debido al humedecimiento general de la roca. Normalmente se suele medir la componente vertical de hinchamiento. Los datos que se poseen sobre la expansividad del terreno están obtenidos a través del ensayo Lambe, que fija el cambio potencial de volumen (C.P.V.) de la manera siguiente:

C.P.V.	Descripción
0 - 2	No crítico
2 - 4	Marginal
4 - 6	Crítico
> 6	Muy crítico

- Ensayo de durabilidad (I_D). Mide la resistencia de la roca frente a procesos de meteorización y disgregación como resultado de someter a la muestra a dos ciclos de secado y agitación en un baño de agua. Se obtiene un índice (I_D) que muestra la relación porcentual entre el peso seco de la muestra después de dos ciclos y el peso seco antes del ensayo. La durabilidad del material puede relacionarse con el índice de plasticidad (I_P) en rocas arcillosas según el cuadro que muestra la Figura 6.3.

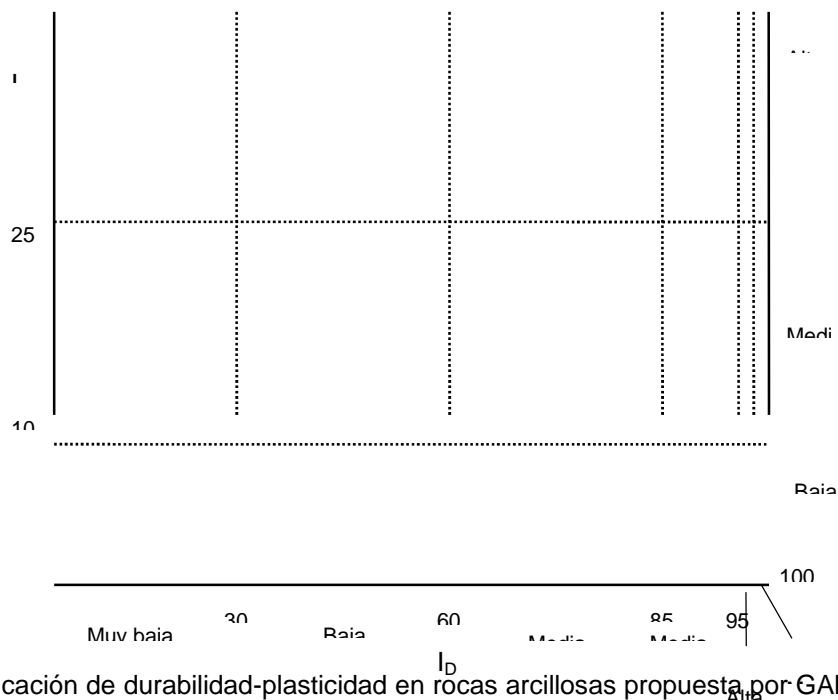


Fig. 6.3. Clasificación de durabilidad-plasticidad en rocas arcillosas propuesta por GAMBLE (ISRM, 1972).

Las características constructivas de los diferentes materiales se estudian para condiciones de cimentación y para obras de tierra.

- **Cimentación.** Se evalúa la capacidad portante del terreno. Normalmente se ha utilizado el criterio expuesto en el Código Británico nº 4 y Norma DIN-1054, que establece cargas admisibles para roca poco diaclasada, no meteorizada con estratificación favorable y marcada de 15 Kp/cm² y de 30 Kp/cm² en estado masivo o columnar. (En caso de rocas diaclasadas o con disposición desfavorable de los planos de estratificación, estos valores deberán reducirse a la mitad.

Descripción de la roca	Kp/cm2
Roca ígnea o gnéisica sana	109
Calizas masivas y areniscas duras	44
Esquistos y pizarras	33
Lutitas duras, limolitas y areniscas blandas	22
Lutitas arcillosas	11

Cargas admisibles según el Código de Práctica Británico nº 4, para diferentes tipos de roca.

En suelos y debido a que no se dispone de datos sobre asientos, éstos han sido estimados considerando la consistencia media del terreno. Asimismo, se señalan los problemas concretos de cimentación que pueden darse en cada Zona Geotécnica; los más generalizados están relacionados con asientos diferenciales, presencia de agua subterránea, presencia de sulfatos en el sustrato, debido a la alta reactividad de los mismos con el hormigón, y riesgos de colapsos en aquellas unidades con presencia potencial de cavidades subterráneas.

- **Excavabilidad.** Los terrenos se han clasificado de acuerdo con la Norma Tecnológica de Edificación (Acondicionamiento del Terreno. Desmontes. Vaciados; NTE-ADV, (1976) en los siguientes grupos: 1) Duro. Atacable con máquina o escarificador, pero no con pico, como terrenos de tránsito, rocas descompuestas, tierras muy compactas; 2) Medio. Atacable con el pico, pero no con la pala, como arcillas semicompactas, con o sin gravas o gravillas; 3) Blando. Atacable con la pala, como tierras sueltas, tierra vegetal, arenas. Cuando en la excavación se encuentran mezclados los terrenos se establece el porcentaje de cada uno de los tres tipos.
- **Estabilidad.** Dos son los parámetros que condicionan estos procesos: litología (y estructura) y pendiente del talud. En consecuencia, en cuanto a la naturaleza de los materiales se evalúa su estabilidad en tres grupos (alta, media y baja), desechándose aquellas unidades geológicas que por su litología no son favorables a la aparición de situaciones de inestabilidad. Por lo que se refiere a la pendiente, se estima una inclinación del 10% como límite inferior a la aparición de estos fenómenos.
- **Empujes sobre contenciones.** Hacen referencia a contenciones del terreno natural, no de rellenos realizados con los materiales de cada zona.
- **Aptitud para préstamos.** Se ha utilizado básicamente el Pliego de Prescripciones Técnicas Generales de la Dirección General de Carreteras (P.P.T.G.). El término No Apto designa suelos inadecuados; Marginal, designa suelos que unas veces son inadecuados y otras tolerables e incluso adecuados; el término Apto, designa suelos tolerables, adecuados e incluso seleccionados.
- **Aptitud para explanada en carreteras.** Se evalúa la capacidad de soporte de los materiales para constituir una explanada, es decir, la resistencia que ofrecen a la deformación bajo cargas.

Se ha tomado como referencia la Instrucción de Carreteras, Normas de Firmes Flexibles y Firmes Rígidos. Se entiende por suelo No Apto, aquel que no puede constituir un

desmonte ni un terraplén explanada tipo E-1 (Suelos tolerables al menos estabilizado en sus 15 cm superiores, con CBR de 5 a 10). Marginales son aquellos que cumplen a veces dicha condición; en especial suele referirse a terrenos tolerables, que no conviene que sean explanada directamente (CBR de 10 a 20). Aptos, son terrenos frecuentemente adecuados y seleccionados; constituyen explanadas tipo E-3 (CBR > 20).

En terraplenes y pedraplenes, la categoría de la explanada dependerá del material utilizado en su coronación.

- Obras subterráneas. Se utiliza el término "Muy Difícil" para suelos muy blandos por debajo del nivel freático o suelos potencialmente expansivos; "Difícil" designa terrenos blandos o arenosos limpios bajo el nivel freático; y "Medio", suelos firmes, casi rocas blandas, que sólo a veces presentan problemas de nivel freático, con cierta capacidad de autosoporte y sin empujes fuertes.

Para las formaciones rocosas se da una idea de su categoría en las clasificaciones de Bieniawski (1979), que obtiene un índice de calidad (RMR, Rock Mass Rating), mediante la valoración de cinco parámetros:

- Resistencia de la roca
- RQD
- Separación entre diaclasas
- Presencia de agua
- Disposición de las juntas respecto a la excavación

Bieniawski establece cinco categorías en función del valor RMR:

- Clase I Roca muy buena: RMR = 81-100
- Clase II Roca buena: RMR = 61-80

- Clase III Roca media: RMR = 41-60
- Clase IV Roca mala: RMR = 21-40
- Clase V Roca muy mala: RMR 20

7.3.4.2. Área II

Zona II₁

- Localización

Aparece ampliamente representada en toda la Hoja, ocupando toda la extensión de la Hoja, a excepción de unos retazos triásicos y los materiales cuaternarios.

- Características geológicas

Se trata sucesiones monótonas de materiales paleozoicos de diferente litología (y por tanto, diferentes propiedades mecánicas) definiendo alternancias rítmicas de pizarras, esquistos, esquistos arenosos con intercalaciones calcáreas y conglomeráticas.

- Características geotécnicas

La característica fundamental del macizo rocoso de Cinco Villas, que constituye esta zona, es la alternancia de materiales de diferente litología en estratos y capas de espesor variable, factores estos que condicionan decisivamente el comportamiento geomecánico del conjunto. No se dispone de datos que puedan caracterizar geotécnicamente al conjunto de materiales que definen esta zona. A continuación se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Pizarras inalteradas)

R.Q.D.	40-60
Grado de Meteorización	2
Qu deducido a partir del Point load test	90,8 Kp/cm ²

A la vista de los resultados, solo se puede decir que se trata de unas pizarras poco meteorizadas, que presentan una resistencia muy baja ($< 250 \text{ Kp/cm}^2$). No obstante, los valores obtenidos de resistencia a compresión a partir del ensayo de carga puntual (point load test) pueden presentar un margen de error importante, debido al bajo número de ensayos realizados.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la presencia de margas, pizarras y niveles arcillosos determina una baja permeabilidad, por lo que no se espera la presencia de agua en profundidad.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación: La Norma DIN 1054 y el Código Británico establecen presiones admisibles del orden 20 kp/cm^2 , valores estos que deben reducirse a la mitad cuando el espesor de los tramos margosos aumenta o la disposición de la estratificación, pizarrosidad y grado de diaclasado son desfavorables. Se estima que la capacidad portante de estos materiales se sitúa entonces entre 6 y 10 kp/cm^2 , valores suficientes para el caso de edificios habituales en los que las cargas proyectadas son inferiores a $3 - 4 \text{ kp/cm}^2$.

El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del horizonte de alteración. Será necesario el empleo de zapatas corridas cuando sea necesario mitigar los efectos (asientos, punzonamiento) que la heterogeneidad litológica provoca por la presencia de niveles poco competentes entre niveles resistivos. Habrá que estudiar las características y disposición espacial de la estratificación y diaclasado, cuando los apoyos se realicen próximos a taludes, y recurrir en caso necesario a trabajos de anclaje y bulonado para garantizar su estabilidad.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Se trata de Terrenos Duros, atacables por medios mecánicos. Las margas, arcillas y niveles calcomargosos son en general ripables.

Estabilidad de taludes. Son un conjunto de materiales que presentan una estabilidad media. Se pueden producir puntualmente desprendimientos superficiales de los niveles margosos muy laminados, y fenómenos de vuelco de estratos.

Empuje sobre contenciones. Serán de tipo bajo, ocasionalmente de tipo medio en zonas margosas alteradas o en taludes con problemas de estabilidad.

Aptitud para préstamos. Las arcillas, margas y calizas margosas se consideran No Aptas para su uso en terraplenes y pedraplenes. Los niveles de areniscas, calizas y cuarcitas constituyen por el contrario, Terrenos Adecuados y Seleccionados. Las pizarras requieren un estudio especial.

Aptitud para explanada en carreteras. En el caso de desmontes en roca, la categoría de la explanada en calizas, areniscas y cuarcitas es la E-3, mientras que las margas, arcillas y calizas margosas requerirán la extensión sobre ellas de un firme seleccionado.

Obras subterráneas. Se encuadran entre la Clase III (Calidad Media) y Clase IV (Calidad Mala) de la Clasificación de Bieniawski (1979), jugando un papel importante la orientación de la estratificación y el grado de diaclasado.

7.3.4.3. Área III

Zona III₁

- Localización

Aparece en una alineación alargada de dirección NE-SO, que aparece principalmente al Norte del río Urumea. En Navarra está reducida a un pequeño retazo al oeste en el límite con Guipúzcoa.

- Características geológicas

Está constituido por conglomerados y areniscas rojas en facies Buntsandstein. Los conglomerados se localizan a base, presentan cantos redondeados de cuarzo y cuarcita,

y se encuentran muy cementados. Las areniscas son de composición cuarcítico-micácea, con cemento silíceo y ocasionalmente ferruginoso.

- Características geotécnicas

En esta ocasión sólo se dispone de los ensayos geotécnicos, realizados sobre materiales del Buntsandstein en horizontes profundos no alterados, en hojas próximas, donde las características son similares que en esta Hoja de Vera de Bidasoa. A continuación, se describen los valores más característicos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas (Roca inalterada)

Densidad	2,74 gr/cm ³
Meteorización	2
R.Q.D.	80-100 %
Resistencia a Compresión Simple (Qu)	1010 Kp/cm ²
Qu a partir del Point Load Test	1354 Kp/cm ²
E. Brasileño (σ_{tb})	79,1 Kp/cm ²
Cohesión (c)	1,15 T/m ²
Ángulo de Rozamiento (ϕ)	23,2° (51 %)

Destacan los altos valores de resistencia obtenidos en el Ensayo de Compresión Simple y en el de Carga Puntual. Según la terminología de la ISRM, la resistencia a compresión simple será alta (>800 Kp/cm²) en los horizontes inalterados de areniscas y conglomerados y baja en los niveles limolítico-arcillosos (60-200 Kp/cm²).

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. El Código de Práctica Británico establece cargas admisibles de 44 Kp/cm². Aún tomando los valores conservadores, la capacidad portante de estos materiales está asegurada a tenor de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a tracción y a compresión. El tipo de cimentación será en general superficial, previa eliminación del recubrimiento superficial y de los niveles superiores más alterados.

Los posibles problemas de cimentación estarán en relación con un comportamiento mecánico desigual de los materiales, como consecuencia del grado de diaclasado y alteración de las areniscas.

2. Condiciones para obra de tierra.

Excavabilidad. Los niveles superficiales, por su alteración y diaclasado son ripables (Terreno Medio), pero en profundidad, precisarán el empleo de explosivos para su excavación.

Estabilidad de taludes. Constituyen materiales de gran estabilidad, con un ángulo de rozamiento interno muy elevado (50 %).

Empuje sobre contenciones. Las contenciones serán necesarias en zonas de alteración fuerte de las areniscas. Pueden esperarse empujes de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Son Materiales Adecuados siempre que no se encuentren alterados y cumplan determinadas especificaciones relativas a granulometría y forma de las partículas.

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes, la categoría de explanada en roca corresponde a la E-3.

Obras subterráneas. Es difícil estimar el grado de fracturación y estado de las diaclasas en profundidad. En conjunto como considerarse un Terreno Medio, de Clase III (RMR=41-60 %), que para anchuras de tunelación normales no plantearía problemas de sostenimiento.

7.3.4.4. Área IV

Zona IV₂

- Localización

Los materiales coluvionares están muy desarrollados en toda la Hoja, apareciendo en casi todas las laderas de los relieves, los canchales aparecen a pie de los principales escarpes, aunque frecuentemente estas masas son una mezcla de coluviones y canchales.

- Características geológicas

Corresponden a depósitos cuaternarios constituidos por canchales, coluviones, deslizamientos y formas poligénicas. Están formados por arcillas limosas o areniscas con abundantes cantos y gravas de materiales carbonatados y areniscosos que se presentan sueltos, sin ningún tipo de cementación. En el caso de los canchales se trata de una acumulación de bloques muy heterométricos, sin apenas elementos finos. Merecen mención especial las masas deslizadas, que se forman a partir de recubrimientos coluvionares, zonas de alteración superficial y litologías blandas o alternantes.

Sus espesores son muy variables, aunque predominan los de reducido espesor.

- Características geotécnicas

Se trata de depósitos escasamente consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados con la disposición geomorfológica y estratigráfica de los materiales. En esta ocasión se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en depósitos coluvionares. A continuación se describen los valores más significativos.

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

% Humedad	31,6
Contenido en Grava (>5mm)	1,9 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	4,3 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	93,8 %
Límite Líquido (WL)	51,4
Límite Plástico (WP)	27,7
Índice de Plasticidad (IP)	23,7
Densidad PROCTOR	1,51 gr/cm ³
Humedad PROCTOR	18,5 %
CBR 95 % Densidad PROCTOR	4,93
CBR 100 % Densidad PROCTOR	8,1
Clasificación de Casagrande	CH-MH-OH
Clasificación ASSHTO	A-7-5/A-7-6
Grado de Meteorización	4
E. Molinete	0,96 Kp/cm ²
Contenido en Carbonatos	0,82 %

Teniendo en cuenta estos datos, los materiales analizados están constituidos por suelos limo-arcillosos de alta plasticidad, que presentan un cierto contenido en grava y arena, así como en materia orgánica. Presentan consistencia media, baja capacidad portante y importantes cambios de volumen, por lo que su comportamiento en explanadas puede calificarse como de regular a malo.

Desde un punto de vista hidrogeológico, carecen en conjunto, de un nivel freático continuo.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Se consideran cargas admisibles entre 1,5-2 Kp/cm². En general, se debe cimentar sobre el sustrato rocoso, mediante cimentación superficial o semiprofunda por pozos, todo ello en función de la profundidad de los materiales, con el fin de evitar posibles fenómenos de inestabilidad, sobre todo en áreas con pendientes apreciables. Hay que prestar atención al contenido en humedad ante la posibilidad de cambios volumétricos.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Se consideran Terrenos Medios; su excavación puede realizarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. Constituyen depósitos no consolidados de baja estabilidad. Taludes de alturas superiores a 4 m no deberán superar los 30°.

Empuje sobre contenciones. En general, serán de tipo Medio.

Aptitud para préstamos. Previa eliminación de la cubierta vegetal, constituyen suelos Marginales.

Aptitud para explanada en carreteras. En desmontes en roca, para conseguir categoría de explanada tipo E-3 precisarán la extensión sobre ellos de un firme seleccionado.

Obras subterráneas. Debido a su reducido espesor, este tipo de obras afectarán a materiales del sustrato. No obstante, para obras de pequeña envergadura, nos encontraremos con Terrenos Difíciles, que en principio precisarán entibación total.

Zona IV₃

- Localización

Constituyen los depósitos fluviales y aluviales de los principales valles y barrancos, en esta Hoja no son muy importantes, alcanzando su máxima desarrollo en los valles de los ríos Lantz y Biurrana.

- Características geológicas

Corresponden a conos de deyección y depósitos de fondo de valle, formados por gravas y cantos de naturaleza calcárea y cuarcítica, arenas, limos y arcillas. Su proporción y distribución es muy variable, aumentando la proporción de finos en los depósitos de fondo de valle. La naturaleza de la fracción gruesa depende del área de procedencia.

- Características geotécnicas

Se trata de materiales poco consolidados, donde los problemas geotécnicos están condicionados a su disposición geomorfológica y estratigráfica. Se dispone de ensayos geotécnicos procedentes de catas realizadas en materiales semejantes en las la Hojas de Sumbilla (90-II) y Arraiz (90-IV). A continuación se resumen los valores más representativos:

Cuadro Resumen de Características Geotécnicas

Contenido en Grava (>5mm)	0,8 %
Contenido en Arena (5-0.08mm)	17 %
Contenido en Finos (<0.08mm)	82,2 %
Límite Líquido (WL)	44,1
Límite Plástico (WP)	19,5
Índice de Plasticidad (IP)	24,6
Clasificación de Casagrande	CL
E. Penetración Standard	61
E. Molinete	0,41 Kp/cm

A la vista de estos resultados, se puede decir que se trata en general de suelos arcillosos inorgánicos de baja plasticidad, que presentan un cierto contenido en gravas y arenas. Su comportamiento en explanadas se califica de regular a malo.

- Características constructivas

1. Condiciones de cimentación. Para el conjunto de los materiales que definen la Zona, se estima una capacidad portante variable entre 1 y 3,5 Kp/cm², dependiendo de que se trate de un limo de consistencia más o menos rígida o una grava de compacidad alta, y de la presencia o ausencia de nivel freático.

El tipo de cimentación será superficial, salvo cuando no se reúnan las condiciones anteriores, las cargas proyectadas sean superiores a las dadas, en el caso de depósitos aluviales (con alto riesgo de avenidas), que será necesario encontrar niveles profundos más resistentes (incluso el sustrato). En estos casos, el tipo de cimentación será semiprofunda.

Los condicionantes geotécnicos más importantes estarán relacionados con la posición del nivel freático, que puede dar lugar a subpresiones y fenómenos de inestabilidad en excavaciones y obras, así como agotamientos importantes. Por otro lado, la presencia de intercalaciones de arcillas blandas puede provocar asentamientos diferenciales no admisibles.

2. Condiciones para obras de tierra.

Excavabilidad. Constituyen Terrenos Medios, su excavación puede efectuarse por medios mecánicos sin dificultad.

Estabilidad de taludes. La estabilidad del talud dependerá de la profundidad del nivel freático y del tipo unidad morfológica. En general, para alturas superiores a 3 m pueden proyectarse taludes 3H: 4V. De manera ocasional, pueden producirse pequeños desprendimientos de cantos de escasa relevancia en los bordes de taludes subverticales.

Empujes sobre contenciones. Serán de tipo Medio. En zonas de gravas varían de Altos a Bajos en función de la profundidad del nivel freático.

Aptitud para préstamos. En general, constituyen Terrenos Marginales. Los tramos de gravas se consideran Aptos, si bien precisan una clasificación que elimine los tamaños gruesos (8-10 cm).

Aptitud para explanada en carreteras. Para constituir explanadas de tipo E-1 en desmontes en roca, precisan sobre ellos la extensión de 50 cm de Suelo Adecuado (ej.: grava clasificada).

Obras subterráneas. Las obras subterráneas de envergadura afectan al sustrato. Sin embargo en obras de menor diámetro (conducciones subterráneas) encontrarán Terrenos Difíciles, según lo establecido en la metodología, que precisarán entibación total.

8. BIBLIOGRAFÍA

ADAN DE YARZA, R.1918. Descripción físico-geológica del País Vasco-Navarro. Geografía General del País Vasco Navarro.t.1., pp. 1-86. 49 fig., 1 mapa geol. 1:800.000, Barcelona. .

ALBAREDE, F. y MICHARD-VITRAC, A.1978.“Datation du metamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées par les méthodes ^{39}Ar - ^{40}Ar et Rb^{87} - ^{87}Sr . Les relations avec les périodotites associées”.Bull. Soc. Géol de France, 7, XX, 5, (681-687)

AMIOT, M..1982.El Cretácico superior de la región Navarro-Cantábra..“Cretácico de España” Univ.Compl. Madrid

.AZAMBRE, B.,RAVIER,J. Y THIEBAUT, F.1971.“A propos du phénomène de dipyrisation des roches éruptives d'age secondaire des Pyrénées”.C.R. Ac.Sc. Paris, 272,(2137-2139)

BERTRAND, L..1911.Sur la structure géol. des Pyrénées occid. et leurs relations avec les Pyrénées orient. et cent.; essai dune carte struct. Pyrén..Bull. Soc. Géol. France, 4 sér., 11, pp. 122-153, 6 figs., 1 pl., Paris.

BRINKMANN, V.R.; LOGTERS, M..1967.Die Diapire der Spanischen Westpyreneen und Lhers Vorlander.Beih. Geol. J.b. 66

CAMARA, P. y KLIMOWITZ, J..1985.Interpretación geodinámica de la vertiente centro-occidental surpirenaica.Estudios geológicos nº 41, 391-404.

CAMPOS, J., GARCIA-DUEÑAS, V., SOLE, J., VILLALOBOS, L..1975.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 65 (Vera de Bidasoa)

CAMPOS, J..1979.“Estudio geológico del Pirineo vasco al W del río Bidasoa”.Munibe,31, 1-2.(3-139)

CAMPOS, K.; LAMOLDA, M y MATHEY, B.1980.“Los términos basales del Cretácico superior del Domo de Fagollaga (Hernani, Guipúzcoa)”.Cuad. De Geol. Ibérica, 5,(327-337)

CAPDEVILLA, R. Y CHOUKROUNE, P..1971.“Sur la presence de filons á zeolites et préhnite dans le secondaire metamorphique de la zone nord-pyrénéenne orientale”.C.R., somm. Soc. Géol. De France, 5 (227-278)

CASTIELLA, J.; SOLE, J. y DEL VALLE, J..1978.Memoria Explicativa de la Hoja 1:200.000. Mapa Geológico de Navarra..Servicio Geológico, Diputación Foral de Navarra.

CASTIELLA, J.; SOLE, J.; NIÑEROLA, S. y OTAMENDI, A..1982.Las aguas subterráneas en Navarra. Proyecto hidrogeológico.Diputación Foral de Navarra, 230 pp.

CIRY, R..1951.Observations sur le Crétacé de la Navarre espagnole au nord-ouest de Pamplone..C.R. Acad. Sc., 233, pp. 72-74, Paris.

CORPAS, J.R..1991.Guía de Navarra..Ed. El País-Aguilar, 231 pp., Madrid..CHOURKROUNE, P..1972. "Relations entre tectonique et métamorphisme dans les terrains secondaires de la zone nord-pyrénéenne centrale et orientale".Bull. Soc. Géol. De France, 7, XIV, (3-11)

CHOUKROUNE, P..1976."Structure et evolution tectonique de la zone nord-pyrénéenne. Analyse de la deformation dans une portion de chaine a schistosité subvertical".Mém. Soc. Geól de Franie, Lv,7, 127, 116 pp.

DEBROAS, E.J..1976."Nouvelles observation sur les relations entre métamorphisme et tectonique dans les terrains secondaires des Pyrénées".C.R. Acad. Sc. Paris, 283 D. (1707-1710)

DONEZAR, M.; ILLARREGUI, M.; DEL VAL, J. y DEL VALLE DE LERSUNDI, J..1990.Mapas de erosión actual y erosión potencial en Navarra, a escala 1:200.000..Inst. Suelo y Conc. Parc. de Navarra - I.T.G.E.

EGUILUZ, L.; GARROTE, A.; LLANOS, H..1982.El metamorfismo de los materiales mesozoicos en la prolongación occidental de la falla nordpirenaica (sector de Leiza, Navarra).Bol. Soc. Esp. Min. 6, 81-91

EWERT, F.K..1964.Geologie des Südteiles des Baskischeu Pyrenäen..Diss. Univ. Münster, pp 223. Münster.

FACI, E.; CASTIELLA, J.; DEL VALLE, J.; GARCIA, A.; DIAZ, A.; SALVANY, J.M.; CABRA, P. y RAMIREZ, J..1992.Actualización del Mapa Geológico de Navarra a escala 1.200.000..Gobierno de Navarra.

FEUILLEE, P..1965.Contribution á la connaissance du Crétace moyen du Nord et de l'Oueste de la Navarre espagnole..Actes 4º Congrès Intern. Etudes Pyrénéenes, Pau-Lourdes, 11,16 sept.1962, 1, sect.1, pp.

FEUILLEE, P., SIGAL, J..1965.Le transgression du Crétacé supérieur (flysch nord-pyrénéen) sur le massif des Cinco-Villas (Pyrénées basques)..Bull. Soc. Géol. De France, 7, VII, (15-55)

FEUILLEE, P..1967.Le Cenomanien des Pyrénées basques aux Asturies. Essai d'analyse stratigraphique.Mem. Soc. Géol. Fr. 108

FEUILLEE, P.; RAT, P..1971.Structures et paleogeographie pyreneo-cantabrique..En Hist.Struct. du Golle de Gascogne, Ed. Technip. Paris 2

FEUILLEE, P..1971.Les calcaires biogéniques de l'albien et du cenomanien pyrénéo-cantabrique: Problèmes d'environnement..Palaeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 9

FLOQUET, M.; MATHEY, B.; ROSSÉ, P.; VADOT, J.P..1988.Age cénoomanien et turonoconiacien des calcaires de Sare (Pays basque). Conséquences paléomorphologiques et tectonogénétique pour les Pyrénées occidentales..Bull. Soc. Géol Fr., (8), 6.

FONTBOTE, L..1981.Strata-bound Zn-Pb-f-Ba, deposits in carbonate rocks: new aspects of paleogeographic location.Inaugural Diss. Ruprecht Karl-Universitat

GALDANO, A..1980.Sur l'existence d'accidents transversaux a la chaîne pyrénéenne: apports des sondage geomagnetiques profonds dans le Pays Basque.C.R. Acad. Sc. Paris 290

GALLART, J.; BANDA, E.; DAIGNIERES, M..1981.Crustal structure of the Paleozoic Axial Zone of the Pyrenees and transition to the North Pyrenean Zone.Ann. Geophys 35

GARCIA - MONDEJAR, J..1982.Aptiense - Albiense..In: El Cretácico de España. Univ. Compl. Madrid, pp 63-84.

HEDDEBAUT, C..1965.Recherches stratigraphiques et paleontologiques dans le massif des Aldudes (Basses - Pyrénées)..Bul. Soc. Geol. France, 7.

HEDDEBAUT, C..1967.Observations tectoniques sur le massif des Aldudes (Basses Pyrénées)..C.R. Somm Seances Soc. Geol. France.

HEDDEBAUT, C..1970.Sur l'age des formations paleozoiques du Massif du Cinco Villas..C.R. Somm. Sc. Geol. France. T.6

HEDDEBAUT, C..1973.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Thèse. Univ. Sc. Tech. Lille, 263 pp.

HEDDEBAUT, C..1975.Études géologiques dans les massifs paleozoïques basques.Bulletin du B.R.G.M., Section IV, n° 1

I.T.G.E..1990.Mapa del Cuaternario de España a escala 1:1.000.000

ITGE-ENRESA.Inédito.Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España a escala 1:1.000.000

LAMARE, P..1927.Sur la structure des Pyrénées navarraises..C.R. XIV° Congr. Geol. Intern., T. 2, p. 693-698, Madrid.

LAMARE, P..1931.Les éléments structuraux des Pyrénées basques d'Espagne. Essai de synthèse tectonique..Bull. Soc. Geol. Fr. (5) 1,95-130

LAMARE, P..1928.Sur un type d' accident tectonique affectant les plis de fond pyrénées du Pays Basque Espagnol..C.R. ac. Sc. Paris 187

LAMARE, P..1932.Sur l'age des couches á facies flysch de la zone sudpyrénéenne en Navarra..C.R. Somm. S.G.F., 4 mai 1931, 9-10, 107-109, Paris.

LAMARE, P..1936.Recherches géologiques dans les Pyrénées Basques d'Espagne..Mem. Soc. Geol. France (N.S.) 12, 27; pp 464. Paris.

LAMARE, P..1954.Superposition des mouvements orogéniques anté-Aptiense, anté-cénomaniens et éocènes sur la lisière septentrionale des Pyrénées Basques.C.R. somm. Soc. Géol. France, 5 (110-113)

LOTZE, F..(1930-31).Nordostlich gerichtete strukturelemente im bau der Westpyrenaen.Narch Ges. d. Wiss. Gottingen, Math-Phys. Kl.,(1-13)

LOTZE, F..1932.Sur l'age des mouvements ayant donné naissance á la nappe des marbres des Pyrénées navarraises.C.R. somm. Soc. Géol. De France, 5,(101-103)

LOTZE, F..1946.Sobre los cambios de vergencia con ejemplo del Pirineo occidental..Pub. Extr, sobre Geol. De España. III (271-283)

LUCAS, C..1987.Estratigrafía y datos morfo-estructurales sobre el Pérmico y Tríasico de Fosas Norte Pirenaicas.Cuadernos Geología Ibérica. Vol 11.

MARTINEZ TORRES, L.M..1989.El Manto de los Mármoles (Pirineo Occidental): Geología estructural y evolución geodinámica..Tesis doctoral. Univ. País Vasco. 290 pp.

MARTINEZ TORRES, L.M..1997.Transversal a la Cuenca Vasco-Cantabrica: Introducción a la estructura y evolución geodinámica..IX Reunión de la Comisión de Tectónica de la S.G.A.E..Servicio editorial Universidad País Vasco

MATHEY, B..1983.Le systeme du flysch calcaires.Mem. Geol. Univ. Dijon. 9

MATTAUER, M.; PROUST, F. Y RAVIER, J..1964.Remarques sur l'age du metamorphisme pyrénéenne..C.R. somm. Soc. Géol. De France, 3, (129-130)

MATTAUER, M. y SEGURET, M..1971.Les relations entre la chaîne des Pyrénées et le Golfe de Gascogne..In: Histoire structurale du Golfe de Gascogne, t 1. Publ. Inst. Français Pétrole. Ed. Technip. Pp. IV-4-1 a IV-4-24.

.MENSUAS, S..1960.La Navarra media oriental. Estudio geográfico..Inst. Príncipe de Viana, Dep. Geol. Aplic. Zaragoza, Serv. Reg. 8, 186, pp., 40 figs. y 25 láminas.

MIROUSE, R..1967.Le Dévonien des Pyrénées occidentales et Centrales (France)..Interm. Sympos. Devonian System. Vol., I, pp. 153-170, 1 fig., Calgary.

MOHR, R. y PILGER, A..1965.Das Nord-Süd-streichende Lineament von Elizondo in den westlichen Pyrenäen..Geol. Rdsch., 54 (1964), 2, s. 1044-1060, 7 Abb., Stuttgart.

MONTIGNY, R.; AZAMBRE, B.; ROSSY, M.y THOIZAT, R..1986.K.Ar study of cretaceous magmatism and metamorphism in the Pyrenees: age and length of rotation of the Iberian -peninsula.Tectonophysics.129, (257-273)

MULLER, J..1967.Sur la superposicion des déformations dans les Pyrénées occidentales..C.R. Acad. Sc. 265, Sér. D. pp. 400-402, Paris.

MUTTI, E.; REMACHA, E.; SGAVETTI, M.; ROSELL, J.; VALLONI, R. y ZAMORANO, M..1985.Stratigraphy and facies characteristics of the Eocene Hecho Group turbidite systems. South-central Pyrenees..In: M.D. Milá y J. Rosell eds: 6th European Regional Meeting I.A.S. y Lleida.

OTERO MAZO C..1978.Ensayos de laboratorio en la mecánica de Rocas.Boletín del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo nº 127

PEÑA, J.L..1984.Geomorfología de la provincia de Teruel.Instituto de Estudios Turolenses. Teruel.

RAMIREZ DEL POZO, J..1971.Bioestratigrafía y facies del Jurásico y Cretácico del norte de España.Mem.del I.G.M.E..

RAMIREZ, I.; OLIVE, A.; VILLALOBOS, L.; SOLE, J..1986.Mapa geologico de España. E. 1:50.000, 2ºser. Hoja nº 89 (Tolosa)

RAT, P..1959.Les Pays Basco Cantabriques.Thesis. Fac. Sc. Univ. Dijon T18

RAT. P..1963.Problemes du Cétacé inferieur dans les Pyrénées et le nord de l'Espagne.Sonderd Geol. Rundschau nº53

- RAT, P..1983.Une sur le Cretace Basco-Cantabrique et Nord-Iberique..Mem. Geol, Univ. Dijón
- RAVIER, J..1959.Le métamorphisme des terrains secondaires des Pyrénées..Mem. Soc. Géol. De France, XXXVIII, 2-3, 86, 250 pp
- RAZIN, P..1989.Évolution tecto-sédimentaire alpine des Pyrénées Basques a l'ouest de la transformante de Pamplona..Thèse, Univ. Bordeaux III, Bordeaux, 463 pp
- REQUADT, M..1974.Aperçu sur la stratigraphie et le facies du Devonien inferieur et moyen dans les Pyrénées Occidentales d'Espagne..Pirineos, III
- RIBA, O..1974.Tectogénese et sédimentation: deus modèles de discordances syntectoniques pyrénéennes..Bull. B.R.G.M., 2,1,4, (384-401)
- RICATEU, R. Y CHOUKROUNE, P..1970.Les consequences structurales de la présence de Crétace supérieur dans la zone nord-pyrénéenne ariégeoise..C.R. somm. Soc. Géol. De France. 6, (190-191)
- RIOS, J.M.; ALMELA, A. y GARRIDO, J..1944.Datos para el conocimiento estratigráfico y tectónico del Pirineo Navarro.Notas y com. Inst. Geol. y Min. España. 13 (1944): 141-164; 14 (1945): 139-198; 16 (1946): 57-119.
- SCHOTT, J.J..1985.Paleomagnetisme des séries rouges de Permien, du Trias et du Crétacé inférieur dans les chaines pyrénéo-cantabriques et nord-ouest ibériques. Implications géodynamiques.Thèse, Univ. Louis Pasteur, Strasbour, 328 pp
- SIBSON, R.N..1977.Fault rocks and fault mechanisms.J. Geol. Soc. London, 133
- SOLER y JOSE, R..1972.El Jurásico y Cretácico inferior de Leiza y Tolosa..Bol. Geol. Min. T. 83, VI
- SOUQUET, P..1967.Le Crétace Supérieur sud-pyrénéen en Catalogne, Aragon et Navarre.Thèse Doct. Sc. Nat. Arch. Orig. Centre Docum. C.N.R.S. Nr. 1.351, 488 p., 13 Cartes, 86 pl.,Toulouse 1967 (édit privat., 529, p., 29 pl. Toulouse, 1967).
- TEIXELL, A..1992.Estructura Alpina en la transversal de la terminación occidental de la zona Axial Pirenaica..Tesis Doctoral, Departamento de Geología Dinámica, Geofísica y Paleontología..Facultad de Geología, Universitat de Barcelona.

VAN DER VOO, R; BOESSENKOOL, A..1973.Permian paleomagnetic result form the Western Pyrenees, delieating the boundary between de Iberian Peninsula and Stable Europe..Jour. Geophys, Research. 78 (5118-5127)

VILLALOBOS, L.y RAMIREZ, J..1974.Construcción al estudio del Cretácico superior de facies flysch de Navarra..Pirineos III.

VOLTZ, H..1964.Zur Geologie der Pyrenaiden im Nordwestlichen. Navarra-Spanien..Tesis, Munster-Diss, 192 äpp

WALGENWITZ, R..1976.Etude petrol. desroches intrusives trias. des ecailles du socle profond et gîtes de chlrorite de la region d'Elizondo (Nav., Espag.)..These de l'Université de Besangou, pp. 172.

WINNOCK, E..1971.Geologie succincte du bassin d'Aquitaine (contribution á l'histoire du Golfe de Gascogne)..En "Hist. Struc. du Golfe ed Gascogne, DE. Technip, Paris, (IV.1.1 . IV. 1-30)

ZUAZO, J.A..1986.Geologia del sector central del Arco Vasco (entre los meridianos de Tolosa y Berastegui).Tesis de Licenciatura, Univ. País Vasco, 125 pp.